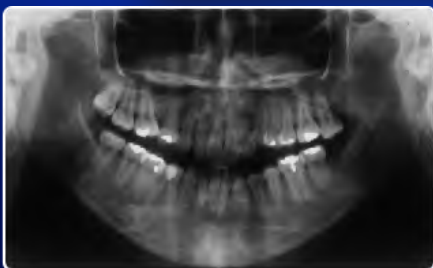
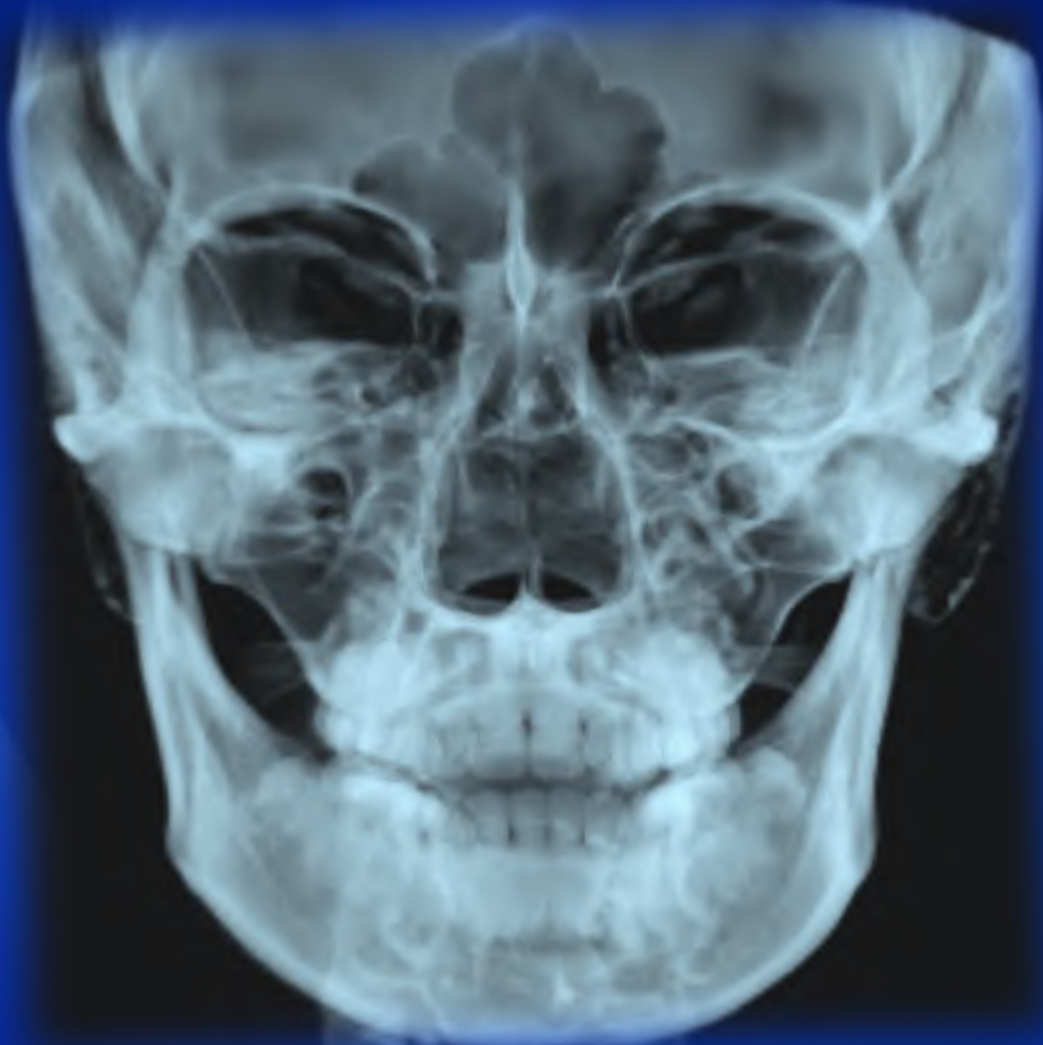


การถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม

จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ในคลินิก



ศาสตราจารย์ ทพญ.ดร. สุวดี โยมิตบวรชัย

การถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม

จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ในคลินิก

ศาสตราจารย์ ทพญ.ดร. สุวดี โฆษิตบวรชัย

การถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม :จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ในคลินิก

ผู้แต่ง : ศาสตราจารย์ ทพญ.ดร. สุวดี โฆษิตบรรชัย

ครั้งที่พิมพ์ 2/2568 (รูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ราคา 450 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ. 2558

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

สุวดี โฆษิตบรรชัย.

การถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ในคลินิก / สุวดี โฆษิตบรรชัย.--

พิมพ์ครั้งที่ 1. -- ขอนแก่น :โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2557.

487 หน้า

1. การถ่ายภาพรังสี. 2. ทันตกรรม. (1) ชื่อเรื่อง.

ISBN 978-616-223-460-6

สั่งซื้อได้ที่ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<http://www.chulabook.com>

โทร. 086-323-3703-4

customer@chulabook.chula.ac.th, info@chulabook.chula.ac.th

Apps: CU-eBook Store

คำนำ (พิมพ์ครั้งที่ 2)

ตำราการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมเล่มนี้มีจุดประสงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้พื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานในคลินิกเกี่ยวกับการถ่ายภาพรังสีแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานทางทันตกรรม ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญ เพราะเกี่ยวข้องกับวิชาชีพทันตแพทย์ตลอดอายุการทำงาน

ตำราเล่มนี้เริ่มตั้งแต่เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสี เทคนิคการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมขั้นพื้นฐานไปถึงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคพิเศษ และการประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมในผู้ป่วยแบบต่างๆ มีการยกตัวอย่างการถ่ายภาพรังสีในกรณีศึกษาต่าง ๆ ซึ่งได้จากประสบการณ์การทำงานในคลินิกตลอดระยะเวลากว่า 30 ปี รูปในตำราเล่มนี้ได้มาจากการวาดและถ่ายรูปด้วยตนเอง ภาพรังสีผู้ป่วยได้รับอนุญาตจากผู้ป่วยที่เข้ารับการถ่ายภาพรังสีที่คลินิกทันตรั้งสี คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตำราเล่มนี้ ตั้งใจถ่ายทอดความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม โดยเฉพาะ มีความตั้งใจทำงานสูงเพื่อให้เป็นตำราการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมที่สมบูรณ์ นักศึกษาจะได้รับความรู้และสามารถใช้ทบทวนได้ด้วยตนเองตลอดเวลาตั้งแต่ขั้นพื้นฐานจนถึงการประยุกต์ใช้งานต่อไป

อนึ่ง ในตำราเล่มนี้ เขียนคำศัพท์ตามศัพท์บัญญัติทางทันตแพทยศาสตร์ ฉบับแก้ไขปรับปรุง พ.ศ. 2553 โดยคณะกรรมการบัญญัติศัพท์ภาษาไทยทางทันตแพทยศาสตร์ ศัพท์ใดที่ไม่มีบัญญัติได้เขียนทับศัพท์และพยายามแปลตามวิธีการแปลของราชบัณฑิตยสถาน

สุวดี โฆษิตบวรชัย

คำขอบคุณ

หนังสือเล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยแรงบันดาลใจและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย อันมีบิดา มารดา ผู้เป็นต้นแบบของการทำงาน ให้ทำงานด้วยความตั้งใจ เอาใจใส่ และมีคุณภาพ ครูบาอาจารย์ผู้ให้ความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ อย่างไม่เคยสิ้นสุด ผู้ป่วยผู้ที่เป็นเสมือนครู ยินดีเป็นกรณีศึกษาให้แก่นักศึกษาและทันตแพทย์ผู้เกี่ยวข้อง นักศึกษาผู้ทำให้ตำราเล่มนี้ จะต้องมีความละเอียดและครอบคลุมมากที่สุด หัวหน้าภาควิชาวินิจฉัยโรคช่องปาก รศ.เพ็ญศรี โพธิ์ภักดี ผู้สนับสนุนทุกด้านทั้งเรื่องเทคนิค วิธีการ เครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยในการเขียนและพิมพ์ตำรา คณาจารย์ในภาควิชาวินิจฉัยโรคช่องปากที่ช่วยอ่านต้นฉบับ ให้คำแนะนำและแบ่งปันรูปภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อันเป็นสถานที่หลักในการเขียนตำราเล่มนี้ ตลอดจนมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนการจัดพิมพ์ตำรา และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

ตอนที่ 1 พื้นฐานการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม

บทที่ 1	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรังสีเอกซ์	3
บทที่ 2	อันตรายจากรังสีเอกซ์และการป้องกัน	21
บทที่ 3	อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	45
บทที่ 4	ห้องมืดและการล้างฟิล์ม	79
บทที่ 5	หลักการสร้างภาพรังสี และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพรังสี	95
บทที่ 6	ความผิดปกติของฟิล์ม (film fault)	113
บทที่ 7	อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจดูภาพรังสีและการเรียงฟิล์ม	129
บทที่ 8	การควบคุมการติดเชื้อ	141
บทที่ 9	โครงสร้างทางกายวิภาคในการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	153

ตอนที่ 2 การถ่ายภาพรังสีในปาก

บทที่ 10	การถ่ายภาพรังสีในปาก	165
บทที่ 11	การถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	173
บทที่ 12	การถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	191
บทที่ 13	การถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	209
บทที่ 14	การถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัดสบ	223
บทที่ 15	การประยุกต์วิธีการถ่ายภาพรังสีในปากในผู้ป่วยกรณีต่าง ๆ	237

ตอนที่ 3 การถ่ายภาพรังสีนอกปาก

บทที่ 16	การถ่ายภาพรังสีนอกปาก	259
บทที่ 17	การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	279
บทที่ 18	การถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	301

ตอนที่ 4 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคอื่น ๆ

บทที่ 19	การถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัล	331
บทที่ 20	การหาตำแหน่งโดยการฉายรังสี	355
บทที่ 21	การถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย	373
บทที่ 22	การถ่ายภาพรังสีเทคนิคพิเศษ	393
บทที่ 23	การเลือกเทคนิคถ่ายภาพรังสีในงานทันตกรรม	417

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรังสีเอกซ์

• บทนำ	5
• ประวัติการค้นพบรังสีเอกซ์	5
• สสารและพลังงาน	6
• โครงสร้างอะตอม	7
• รูปแบบพลังงาน	10
• การผลิตรังสีเอกซ์	10
• คุณสมบัติของรังสีเอกซ์	13
• ปฏิกริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร	13
• การนำรังสีเอกซ์มาสร้างภาพในงานทันตกรรม	19
• บทสรุป	19

บทที่ 2 อันตรายจากรังสีเอกซ์และการป้องกัน

• บทนำ	23
• หน่วยการวัดปริมาณรังสีเอกซ์	23
• ผลทางชีวภาพของรังสีเอกซ์ต่อเนื้อเยื่อ	24
• ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความรุนแรงของรังสีเอกซ์ต่อเนื้อเยื่อร่างกาย	27
• ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ใช้ในทางทันตกรรม	28
• ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งอันเนื่องจากการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	29
• การป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์	30
➢ แนวทางการป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์สำหรับผู้ป่วย	31
➢ แนวทางการป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์สำหรับบุคลากร	35
➢ การป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์สำหรับบุคคลใกล้เคียง	41
• การป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์ขณะใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีชนิดถือเคลื่อนที่	41
• กฎหมายการวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลในประเทศไทย	43
• บทสรุป	43

บทที่ 3 อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม

• บทนำ	47
• อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพรังสีในปาก	47

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
➤ เครื่องถ่ายภาพรังสีในปาก	47
➤ เครื่องถ่ายภาพรังสีในปากชนิดถือเคลื่อนที่ได้	53
➤ फिल्मถ่ายภาพรังสีในปาก	54
➤ อุปกรณ์ยึดฟิล์ม	59
• อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพรังสีนอกปาก	62
➤ เครื่องถ่ายภาพรังสีนอกปาก	62
➤ फिल्मถ่ายภาพรังสีนอกปาก	63
➤ ตลับฟิล์ม	66
➤ ฉากเพิ่มความเข้ม	66
➤ กริด	69
➤ เครื่องบันทึกชื่อผู้ป่วยและเครื่องหมายบอก ซ้าย-ขวา	73
➤ แสงที่ใช้ในห้องมืด	75
• บทสรุป	76
บทที่ 4 ห้องมืดและการล้างฟิล์ม	
• บทนำ	81
• ห้องมืด	81
• อุปกรณ์ในห้องมืด	81
• ส่วนประกอบของน้ำยาล้างฟิล์ม	85
• วิธีการล้างฟิล์ม	87
➤ การล้างฟิล์มด้วยมือ	87
➤ การล้างฟิล์มด้วยเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ	90
➤ การล้างฟิล์มด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดฉีด	91
• วิธีกำจัดรอยปนเปื้อนจากน้ำยาสร้างภาพและน้ำยาคงสภาพ	92
• บทสรุป	92
บทที่ 5 หลักการสร้างภาพรังสี และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพรังสี	
• บทนำ	97
• หลักการสร้างภาพรังสี	97
• ลักษณะภาพรังสีที่มีคุณภาพดี	100
• คำที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของภาพรังสี	101

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
➤ ความเข้มภาพรังสี	101
➤ ความเปรียบต่างทางภาพรังสี	102
➤ คุณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพ	103
• องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพรังสี	104
➤ ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มภาพรังสี	105
➤ ปัจจัยที่มีผลต่อความเปรียบต่างทางภาพรังสี	108
➤ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะทางเรขาคณิตของภาพ	108
• บทสรุป	110
บทที่ 6 ความผิดพร่องฟิล์ม	
• บทนำ	115
• ลักษณะความผิดพร่องที่พบได้ในภาพรังสีในปาก สาเหตุและวิธีแก้ไข	115
• บทสรุป	127
บทที่ 7 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจดูภาพรังสี และการเรียงฟิล์ม	
• บทนำ	131
• อุปกรณ์สำหรับตรวจดูภาพรังสี	131
• วิธีตรวจดูภาพรังสี	132
• การเรียงภาพรังสีในปาก	134
➤ จุดประสงค์ในการเรียงภาพรังสีทั้งปาก	134
➤ กรอบสำหรับเรียงภาพรังสี	134
• แนวทางการเรียงภาพรังสีในปาก	135
• คำแนะนำในการระบุลักษณะฟันและกระดูกขากรรไกร	135
• บทสรุป	138
บทที่ 8 การควบคุมการติดเชื้อ	
• บทนำ	143
• การควบคุมการติดเชื้อในการถ่ายภาพรังสี	143
➤ การควบคุมการติดเชืวก่อนถ่ายภาพรังสี	143
➤ การควบคุมการติดเชื้อขณะถ่ายภาพรังสี	146
➤ การควบคุมการติดเชื้อภายหลังจากถ่ายภาพรังสี	147

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
• การควบคุมการติดเชื้อในการถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัล	148
• สารฆ่าเชื้อ	149
• บทสรุป	149
บทที่ 9 โครงสร้างทางกายวิภาคในการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	
• บทนำ	155
• ทำมาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์	155
• จุดหลักหรือจุดกำหนดทางกายวิภาค	156
• ระนาบของร่างกาย	157
• มุมของลำรังสีเอกซ์	159
• บทสรุป	160
บทที่ 10 การถ่ายภาพรังสีในปาก	
• บทนำ	167
• ชนิดการถ่ายภาพรังสีในปาก	167
• เครื่องมือถ่ายภาพรังสีในปาก	170
• ข้อแนะนำการถ่ายภาพรังสีในปากในคลินิก	170
• บทสรุป	171
บทที่ 11 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	
• บทนำ	175
• หลักการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	175
• ข้อบ่งชี้ในการเลือกใช้เทคนิคแบ่งครึ่งมุม	177
• วิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	178
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันตัดบน	179
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันเขี้ยวบน	181
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามน้อยและฟันกรามบน	182
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามบนซี่ที่ 3	182
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันตัดล่าง	184
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันเขี้ยวล่าง	185
➢ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามน้อยและฟันกรามล่าง	185

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามล่างซี่ที่ 3	186
• ข้อสังเกตในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	187
• บทสรุป	188
บทที่ 12 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	
• บทนำ	193
• หลักการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	193
• ข้อบ่งชี้ในการเลือกใช้เทคนิคขนาน	194
• วิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	194
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันตัดบน	195
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันตัดซี่ข้าง	196
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันเขี้ยวบน	197
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามน้อยบน	198
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามบน	199
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันตัดล่าง	200
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันเขี้ยวล่าง	201
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามน้อยล่าง	202
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีฟันกรามล่าง	202
• ข้อสังเกตในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	204
• บทสรุป	207
บทที่ 13 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	
• บทนำ	211
• หลักการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	211
• ข้อบ่งชี้ในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	211
• วิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	212
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิดฟันกรามน้อย	213
➤ วิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิดฟันกราม	215
➤ การถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิดด้วยการวางฟิล์มแนวตั้ง	216
• ข้อสังเกตในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิด	216
• บทสรุป	221

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 14 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัศบ	
• บทนำ	225
• ชนิดของการถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัศบ	225
• ข้อบ่งชี้ในการส่งถ่ายภาพรังสีกัศบรายละเอียดเฉพาะส่วน	226
• วิธีการถ่ายภาพรังสีกัศบรายละเอียดเฉพาะส่วน	227
➢ บริเวณฟันหน้าบน	227
➢ บริเวณฟันหลังบน	228
➢ บริเวณฟันหน้าล่าง	229
➢ บริเวณฟันหลังล่าง	229
• วิธีการถ่ายภาพรังสีกัศบภาคตัดขวาง	231
➢ ในฟันบน	231
➢ ในฟันล่าง	231
• ข้อสังเกตในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัศบ	232
• การประยุกต์ใช้ฟิล์มกัศบถ่ายภาพรังสีด้านข้าง	233
• บทสรุป	233
บทที่ 15 การประยุกต์วิธีการถ่ายภาพรังสีในปากผู้ป่วยกรณีต่างๆ	
• บทนำ	239
• การประยุกต์วิธีการถ่ายภาพรังสีในปากในผู้ป่วยกรณีต่างๆ	239
• คำแนะนำการถ่ายภาพรังสีในปากในคลินิก	253
• บทสรุป	254
บทที่ 16 การถ่ายภาพรังสีนอกปาก	
• บทนำ	261
• นิยาม	261
• จุดประสงค์ในการถ่ายภาพรังสีนอกปาก	261
• ท่ามาตรฐานในการถ่ายภาพรังสีนอกปาก	262
➢ การถ่ายภาพรังสีท่าตรง	262
➢ การถ่ายภาพรังสีท่าด้านข้าง	263
➢ การถ่ายภาพรังสีท่าตัดขวาง	263
• ข้อผิดพลาดที่พบในการถ่ายภาพรังสีนอกปาก	274

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
• บทสรุป	277
บทที่ 17 การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	
• บทนำ	281
• นิยาม	281
• จุดประสงค์	281
• ท่ามาตรฐานในการถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	282
• เครื่องถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	282
• อุปกรณ์ยึดศีรษะผู้ป่วย	283
• วิธีการถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	284
➤ การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกด้านข้าง	284
➤ การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกด้านหลัง หน้า	286
• ตำแหน่งโครงสร้างที่สำคัญ	287
• การตรวจดูภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	290
• ข้อผิดพลาดบนภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	292
• การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกแบบดิจิทัล	297
• บทสรุป	298
บทที่ 18 การถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	
• บทนำ	303
• จุดประสงค์	303
• หลักการสร้างภาพรังสีแพโนรามา	304
• เครื่องถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	308
• วิธีการถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	309
• การถ่ายภาพรังสีแพโนรามาในผู้ป่วยกรณีต่าง ๆ	312
• ข้อผิดพลาดที่พบในการถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	314
• ความสามารถของภาพรังสีแพโนรามาในการตรวจดูความผิดปกติ	326
• บทสรุป	327

สารบัญบท (ต่อ)

หน้า

บทที่ 19 การถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัล

• บทนำ	333
• ความแตกต่างของการถ่ายภาพรังสีระบบฟิล์มและระบบดิจิทัล	333
• วิธีการสร้างภาพรังสีระบบดิจิทัล	337
• คุณลักษณะสำคัญของภาพรังสีระบบดิจิทัล	343
• การปรับแต่งภาพรังสีระบบดิจิทัล	345
• การตรวจคุณภาพรังสีระบบดิจิทัล	348
• การเก็บภาพรังสีระบบดิจิทัล	349
• ข้อผิดพลาดบนภาพรังสีระบบดิจิทัล	350
• การป้องกันการติดเชื้อ	350
• บทสรุป	351

บทที่ 20 การหาตำแหน่งโดยการฉายรังสี

• บทนำ	357
• วัตถุประสงค์ในการหาตำแหน่งในภาพรังสี	357
• วิธีการหาตำแหน่งในภาพรังสี	357
• การหาตำแหน่งฟันเขี้ยวบนชุดด้วยวิธีการอ่านภาพรังสีแพโน라마	368
• บทสรุป	370

บทที่ 21 การถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย

• บทนำ	375
• ตำแหน่งของต่อมน้ำลายหลัก	375
• ภาพรังสีที่ใช้ในการตรวจดูความผิดปกติของท่อและต่อมน้ำลาย	375
• การถ่ายภาพรังสีแบบดั้งเดิมเพื่อตรวจดูความผิดปกติของท่อและต่อมน้ำลาย	376
• การถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย	379
• ลักษณะภาพรังสีท่อน้ำลาย	386
• บทสรุป	390

บทที่ 22 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคพิเศษ

• บทนำ	395
• การถ่ายภาพรังสีเทคนิคพิเศษ	395

สารบัญบท (ต่อ)

	หน้า
• การถ่ายภาพรังสีโทโมแกรม	396
• การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์	399
• การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม	402
• การถ่ายภาพรังสีนิวไคลด์กัมมันตรังสี	405
• การถ่ายภาพด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็ก	407
• การถ่ายภาพคลื่นเสียงความถี่สูง	409
• การถ่ายภาพอินฟราเรดเทอร์โมกราฟี	412
• บทสรุป	413

บทที่ 23 การเลือกเทคนิคถ่ายภาพรังสีในงานทันตกรรม

• บทนำ	419
• ชนิดของการถ่ายภาพรังสี	419
• แนวทางการเลือกเทคนิคการถ่ายภาพรังสีสำหรับผู้ป่วยกรณีต่าง ๆ	419
• การส่งถ่ายภาพรังสีเพื่อจุดประสงค์เฉพาะในงานทันตกรรม	422
• กรณีตัวอย่างการส่งถ่ายภาพรังสีในผู้ป่วยทางทันตกรรม	441
• บทสรุป	446

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 1	
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรังสีเอกซ์	
รูปที่ 1.1 โครงสร้างอะตอมมีนิวเคลียสตรงกลาง อิเล็กตรอนวิ่งล้อมรอบในวงโคจร	8
รูปที่ 1.2 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์แบบเบรมสตราลุง	12
รูปที่ 1.3 การเกิดรังสีเอกซ์แบบแคแรรคเทอร์สติก	13
รูปที่ 1.4 ปฏิกริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร	14
รูปที่ 1.5 การกระเจิงโคเฮเรนต์	16
รูปที่ 1.6 ปฏิกริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก	17
รูปที่ 1.7 ปฏิกริยาการกระเจิงคอมตัน	18
บทที่ 2	
อันตรายจากรังสีเอกซ์และการป้องกัน	
รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์แสดงว่าเป็นบริเวณที่มีรังสีเอกซ์	30
รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ไฟหน้าห้องที่มีการใช้รังสีเอกซ์ (ครีไฟฟ้าแดงติดหน้าห้อง)	31
รูปที่ 2.3 แสดงตัวควบคุมลํารังสี	33
รูปที่ 2.4 แสดงกระบอกรังสี	33
รูปที่ 2.5 แสดงการยึดฟิล์มในปาก	34
รูปที่ 2.6 แสดงเสื้อตะกั่วและปกคอตะกั่ว	35
รูปที่ 2.7 แสดงการป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์สำหรับบุคลากร	36
รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งการยืนกรณีไม่มีฉากกำบัง	36
รูปที่ 2.9 แสดงฟิล์มแบดจ์	38
รูปที่ 2.10 แสดงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสิมิเตอร์	39
รูปที่ 2.11 แสดงบลิปเปอร์โดสิมิเตอร์	40
รูปที่ 2.12 แสดงออปติคัลสติมูเลตเต็ดลูมิเนสเซนส์	41
รูปที่ 2.13 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีชนิดเคลื่อนที่ชนิดที่มีแผ่นป้องกันรังสี	42
บทที่ 3	
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีในปาก	47
รูปที่ 3.2 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์	49
รูปที่ 3.3 แสดงโพล์สสปอท	49
รูปที่ 3.4 แสดงแผ่นกรองรังสีซึ่งทำจากอะลูมิเนียม	50
รูปที่ 3.5 แสดงตัวควบคุมลํารังสี	50

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 แสดงกระบอกรังสี	51
รูปที่ 3.7 แสดงส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องแบบต่าง ๆ	52
รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งสัมผัสที่หัวหลอดรังสีเอกซ์เพื่อช่วยเคลื่อนที่หัวหลอดรังสีเอกซ์	53
รูปที่ 3.9 แสดงการเก็บเครื่องถ่ายภาพรังสีในปากหลังใช้งาน	53
รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีในปากชนิดถือเคลื่อนที่ได้	54
รูปที่ 3.11 แสดงช่องบรรจุฟิล์ม	55
รูปที่ 3.12 แสดงไอเดนทิฟิเคชันดอทที่ด้านรับรังสีของฟิล์ม	56
รูปที่ 3.13 แสดงฟิล์มขนาดต่าง ๆ	56
รูปที่ 3.14 แสดงความเร็วฟิล์มปรากฏบนด้านหลังของช่องฟิล์ม	57
รูปที่ 3.15 แสดงการจับฟิล์มที่ขอบขณะแกะฟิล์มออกจากช่องฟิล์ม	58
รูปที่ 3.16 แสดงที่ยึดฟิล์มชนิดแผ่นยาว	59
รูปที่ 3.17 แสดงคีมหนีบเส้นเลือดสอดในแท่นยางสำหรับกัด	60
รูปที่ 3.18 แสดงที่ยึดฟิล์มแบบต่าง ๆ	61
รูปที่ 3.19 แสดงแท่นกัดและแผ่นรองรับฟิล์มด้านหลัง	61
รูปที่ 3.20 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีนอกปากแบบต่าง ๆ	63
รูปที่ 3.21 แสดงตลับฟิล์มที่บรรจุฉากเพิ่มความเข้มและสกรีนฟิล์ม	65
รูปที่ 3.22 แสดงลักษณะของตลับฟิล์มสำหรับบรรจุฟิล์มขนาดต่าง ๆ	66
รูปที่ 3.23 แสดงฉากเพิ่มความเข้มขนาดต่าง ๆ ตามขนาดตลับฟิล์ม	67
รูปที่ 3.24 แสดงลักษณะของกริดและการทำหน้าที่ในการลดรังสีฟลูออโร	69
รูปที่ 3.25 แสดงความสอดคล้องของแนวรังสีกับโพกัสกริด	70
รูปที่ 3.26 แสดงครอสแฮชกริด	71
รูปที่ 3.27 แสดงแผ่นกริด บอกรายละเอียดกริด และอัตราส่วนกริด	71
รูปที่ 3.28 แสดงตลับฟิล์มที่มีกริดประกอบอยู่ด้วย	73
รูปที่ 3.29 แสดงตำแหน่งบันทึกชื่อผู้ป่วยบนฟิล์มที่ปิดด้วยตะกั่ว	74
รูปที่ 3.30 แสดงเครื่องบันทึกชื่อผู้ป่วยที่ใช้ในห้องมืด	74
รูปที่ 3.31 แสดงเครื่องบันทึกชื่อผู้ป่วยที่ใช้นอกห้องมืด	74
รูปที่ 3.32 แสดงเครื่องหมายบอกด้านในตลับฟิล์ม	75
รูปที่ 3.33 แสดงแสงปลอดภัยสำหรับฟิล์มถ่ายภาพรังสีนอกปาก	76

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ห้องมืดและการล้างฟิล์ม	
รูปที่ 4.1 แสดงถึงน้ำยาล้างฟิล์ม	82
รูปที่ 4.2 แสดงเทอร์โมมิเตอร์และนาฬิกาจับเวลา	83
รูปที่ 4.3 แสดงไม้แขวนฟิล์มแบบต่างๆ	83
รูปที่ 4.4 แสดงกล่องดูฟิล์มแบบต่างๆ	84
รูปที่ 4.5 แสดงตู้อบฟิล์ม	84
รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติชนิดนอกปากซึ่งวางอยู่ภายในห้องมืด	85
รูปที่ 4.7 แสดงกล่องล้างฟิล์มด้วยมือและอุปกรณ์ภายในกล่อง	90
รูปที่ 4.8 แสดงเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติสำหรับล้างฟิล์มถ่ายภาพรังสีในปาก	91
รูปที่ 4.9 แสดงน้ำยาล้างฟิล์มชนิดฉีดเข้าช่องฟิล์ม	91
บทที่ 5 หลักการสร้างภาพรังสีและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพรังสี	
รูปที่ 5.1 แสดงหลักการสร้างภาพรังสี	97
รูปที่ 5.2 แสดงขนาดโพสิทีฟสปอต มีผลต่อความคมชัดของภาพ	98
รูปที่ 5.3 แสดงผลของระยะทางต่อขนาดภาพ	98
รูปที่ 5.4 แสดงขนาดภาพเปรียบเทียบระหว่างวัตถุที่อยู่ใกล้และไกลตัวรับภาพ	99
รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งฟิล์มสัมพันธ์กับแกนพื้น	99
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของลำรังสีกับฟิล์ม	100
รูปที่ 5.7 แสดงเดนซิโตมิเตอร์	101
รูปที่ 5.8 แสดงภาพรังสีสเตปเวดจ์ที่ความต่างศักย์ต่าง ๆ กัน	102
รูปที่ 5.9 แสดงความไม่คมชัดของภาพ เนื่องจากผู้ป่วยเคลื่อนที่	103
รูปที่ 5.10 แสดงการบิดเบือนรูปร่างเนื่องจากฟิล์มงอโค้งบริเวณปลายราก	104
รูปที่ 5.11 แสดงผลของความต่างศักย์ที่มีต่อความเข้มภาพรังสี	105
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าและจำนวนโฟตอน	105
รูปที่ 5.13 แสดงผลของเวลาปล่อยรังสีต่อความเข้มภาพรังสี	106
รูปที่ 5.14 แสดงพลังงานของโฟตอน เมื่อใช้แผ่นกรองรังสี	107
รูปที่ 5.15 แสดงระยะทางจากวัตถุถึงฟิล์มมีผลต่อขนาดพินัมบรา	108

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ความผิดพร่องฟิล์ม	
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะภาพยาวกว่าปกติ	115
รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะภาพสั้นกว่าปกติ	116
รูปที่ 6.3 แสดงสัดส่วนภาพผิดไปจากความจริง	116
รูปที่ 6.4 แสดงภาพซ้อนทับกันทางด้านประชิด	117
รูปที่ 6.5 แสดงการเกิดภาพบางส่วน	117
รูปที่ 6.6 แสดงสาเหตุที่ภาพปลายรากฟันขาดหายไป	118
รูปที่ 6.7 แสดงภาพด้านบดเคี้ยวฟันบนหายไป เนื่องจากมุมในแนวตั้งมากเกินไป	118
รูปที่ 6.8 แสดงไม่ได้ภาพบริเวณที่ต้องการเนื่องจากกัตุอุปกรณ์ยึดฟิล์มไม่ถูกตำแหน่ง	119
รูปที่ 6.9 แสดงภาพจางหรือขาวกว่าปกติ เนื่องจากเอาด้านตะกั่วรับรังสี	119
รูปที่ 6.10 แสดงสาเหตุที่ภาพดำกว่าปกติ	120
รูปที่ 6.11 แสดงไม่ปรากฏภาพบนฟิล์ม	121
รูปที่ 6.12 มีภาพกระดูกนิ้วมือปรากฏบนภาพรังสี (ครีซี)	121
รูปที่ 6.13 แสดงรายละเอียดภาพไม่คมชัดเนื่องจากผู้ป่วยขยับ	122
รูปที่ 6.14 แสดงภาพซ้อนบนฟิล์ม	122
รูปที่ 6.15 แสดงภาพสิ่งแปลกปลอมบนฟิล์ม	123
รูปที่ 6.16 แสดงรอยเส้นสีดำปรากฏบนภาพรังสี เนื่องจากงอฟิล์มหรือหักฟิล์ม	123
รูปที่ 6.17 แสดงรอยขีดไสบนฟิล์มหรือฟิล์มถูกข่วน	124
รูปที่ 6.18 แสดงภาพรังสีปรากฏภาพบางส่วน	124
รูปที่ 6.19 แสดงรอยดำบนฟิล์ม	125
รูปที่ 6.20 แสดงฟิล์มงอขณะถ่ายภาพรังสี	125
รูปที่ 6.21 แสดงจุดขาวบนฟิล์มเนื่องจากสัมผัสน้ำยาคงสภาพก่อนล้างฟิล์ม	126
รูปที่ 6.22 แสดงฟิล์มมีสีเหลืองน้ำตาล	126
บทที่ 7 การตรวจดูภาพรังสี และการเรียงภาพรังสี	
รูปที่ 7.1 แสดงกล่องดูฟิล์ม	132
รูปที่ 7.2 แสดงการตรวจดูภาพรังสี	133
รูปที่ 7.3 แสดงตัวอย่างกรอบสำหรับยึดและเรียงภาพรังสี	134
รูปที่ 7.4 แสดงภาพรังสีฟันหน้า	136
รูปที่ 7.5 แสดงภาพรังสีฟันบน	136
รูปที่ 7.6 แสดงภาพรังสีฟันหลัง	137
รูปที่ 7.7 แสดงเส้นใยกระดูกในภาพรังสี	137

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 8 การควบคุมการติดเชื้อ	
รูปที่ 8.1 แสดงช่องฟิล์มที่มีแผ่นพลาสติกหุ้ม	145
รูปที่ 8.2 แสดงการบรรจุอุปกรณ์การถ่ายภาพรังสีที่ฆ่าเชื้อแล้ว	145
รูปที่ 8.3 แสดงการใช้แผ่นพลาสติกพันรอบ	146
รูปที่ 8.4 แสดงการใช้แผ่นพลาสติกคลุมแทนกัดในเครื่องถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	146
รูปที่ 8.5 แสดงการกำจัดเชื้อบนช่องฟิล์ม	148
บทที่ 9 โครงสร้างทางกายวิภาคในการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	
รูปที่ 9.1 แสดงโครงสร้างทางกายวิภาคของกะโหลกศีรษะด้านข้าง	155
รูปที่ 9.2 แสดงโครงสร้างทางกายวิภาคของกะโหลกศีรษะด้านหน้า	156
รูปที่ 9.3 แสดงเอวเตอร์แคนทัส และอินเนอร์แคนทัส	157
รูปที่ 9.4 แสดงระนาบศีรษะ	158
รูปที่ 9.5 แสดงระนาบและแนวต่าง ๆ	159
รูปที่ 9.6 แสดงมุมของลำรังสีเอกซ์	160
บทที่ 10 การถ่ายภาพรังสีในปาก	
รูปที่ 10.1 แสดงภาพรังสีรอบปลายรากฟันกรามล่างขวาซี่ที่ 1	168
รูปที่ 10.2 แสดงภาพรังสีด้านประชิด	169
รูปที่ 10.3 แสดงภาพรังสีกัดสบรายละเอียดเฉพาะส่วนในขากรรไกรบน	169
รูปที่ 10.4 แสดงภาพรังสีเทคนิคกัดสบภาคตัดขวางในขากรรไกรล่างด้านขวา	170
บทที่ 11 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	
รูปที่ 11.1 แสดงสามเหลี่ยม 2 รูปเท่ากันทุกประการ	175
รูปที่ 11.2 แสดงหลักการแบ่งครึ่งมุม	176
รูปที่ 11.3 แสดงการปรับกระบอกรังสีในการถ่ายเทคนิคแบ่งครึ่งมุม	176
รูปที่ 11.4 แสดงตัวอย่างการปรับมุมในแนวราบหรือแนวระดับ	177
รูปที่ 11.5 แสดงจำนวนและการวางฟิล์มในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมทั้งปาก	178
รูปที่ 11.6 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันตัดบนโดยใช้นิ้วมือกดฟิล์ม	180
รูปที่ 11.7 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันตัดบนด้วยอุปกรณ์ยึดฟิล์ม	180
รูปที่ 11.8 แสดงภาพรังสีฟันตัดบน	180
รูปที่ 11.9 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันเขี้ยวบนโดยใช้นิ้วมือจัดฟิล์ม	181
รูปที่ 11.10 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันเขี้ยวบนโดยสแนปอะเรย์	181

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 11.11 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันกรามน้อยและฟันกรามบน	182
รูปที่ 11.12 แสดงการกระดกปลายฟิล์มด้านท้ายครอบคลุมปลายรากฟันกรามบนซี่ที่ 3	183
รูปที่ 11.13 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันกรามบนซี่ที่ 3	183
รูปที่ 11.14 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันหน้าตัดล่าง	184
รูปที่ 11.15 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันเขี้ยวล่าง	185
รูปที่ 11.16 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันกรามน้อยและฟันกรามล่าง	186
รูปที่ 11.17 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในฟันกรามล่างซี่ที่ 3	187
บทที่ 12 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	
รูปที่ 12.1 แสดงหลักการแบ่งครึ่งมุม	193
รูปที่ 12.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟันและกระดูกเบ้าฟันของฟันกรามบนขวาซี่ที่ 3	194
รูปที่ 12.3 แสดงจำนวนและการวางฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานทั้งปาก	195
รูปที่ 12.4 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานทั้งปากโดยใช้ฟิล์มฟันหน้าล่าง 3 ฟิล์ม	195
รูปที่ 12.5 แสดงอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพรังสีฟันตัดบน	196
รูปที่ 12.6 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันตัดบน	196
รูปที่ 12.7 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันตัดซี่ข้างบน	197
รูปที่ 12.8 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันเขี้ยวบน	197
รูปที่ 12.9 แสดงภาพรังสีฟันเขี้ยวบน	198
รูปที่ 12.10 แสดงการประกอบอุปกรณ์สำหรับฟันกรามน้อย ฟันกรามบน ด้านขวา	199
รูปที่ 12.11 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันกรามน้อยบนด้านขวา	199
รูปที่ 12.12 แสดงภาพรังสีฟันกรามบนด้านซ้าย	200
รูปที่ 12.13 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันตัดล่าง	201
รูปที่ 12.14 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันเขี้ยวล่าง	201
รูปที่ 12.15 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานในฟันกรามน้อยล่าง	202
รูปที่ 12.16 แสดงภาพรังสีฟันกรามล่างด้านซ้าย	203
รูปที่ 12.17 แสดงการหนีบฟิล์มบนแท่นกัดปกติ และทิศทางการเลื่อนฟิล์มและ	203
รูปที่ 12.18 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานบริเวณฟันกรามน้อยและฟันกรามล่างขวา	204
รูปที่ 12.19 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนาน	205
รูปที่ 12.20 แสดงการงอฟิล์มลดการระคายเคืองและช่วยวางฟิล์มที่ตำแหน่งต่าง ๆ	206
รูปที่ 12.21 แสดงตัวอย่างการวางผ้าก๊อชหรือสำลี ช่วยคำนวณการกัดเมื่อถ่ายฟันหน้าบน	206
รูปที่ 12.22 แสดงการกัดแท่นกัดในฟันที่ระดับสูง ต่ำไม่เท่ากัน	207
รูปที่ 12.23 แสดงการวางกระบอกรังสีไม่ตรงกับวงกำหนดลำรังสี ทำให้เกิดภาพบางส่วน	207

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 13 การถ่ายภาพรังสีด้านประชิด	
รูปที่ 13.1 แสดงภาพรังสีด้านประชิดที่ดี	211
รูปที่ 13.2 แสดงฟิล์มกัดปีก	212
รูปที่ 13.3 แสดงอุปกรณ์ยึดฟิล์มสำหรับถ่ายด้านประชิด	213
รูปที่ 13.4 แสดงการกัดฟันในตำแหน่งสบฟันในศูนย์และด้านบดเคี้ยวของฟันบนฟัน	214
รูปที่ 13.5 แสดงการวางฟิล์มด้านประชิดในปากผู้ป่วย	214
รูปที่ 13.6 แสดงปีกกัดสบอยู่กึ่งกลางกระบอกรังสีและผู้ป่วยสบฟันในท่าสบฟันในศูนย์	215
รูปที่ 13.7 แสดงภาพรังสีด้านประชิดฟันกรามน้อย	215
รูปที่ 13.8 แสดงภาพรังสีด้านประชิดฟันกราม	215
รูปที่ 13.9 แสดงตัวอย่างการถ่ายภาพรังสีด้านประชิดโดยการวางฟิล์มแนวตั้ง	216
รูปที่ 13.10 แสดงตัวอย่างการใช้ฟิล์มกัดปีกในฟันซ้อนเก	216
รูปที่ 13.11 แสดงภาพรังสีด้านประชิดในผู้ป่วยที่มีการสบฟันแบบภาวะสบเปิด	217
รูปที่ 13.12 แสดงการถ่ายภาพรังสีด้านประชิดในผู้ป่วยคนเดียวกันที่มีการกัดฟันต่างกัน	217
รูปที่ 13.13 แสดงการปรับมุมแนวตั้งมากกว่า 10 องศา ปุ่มฟันบนจะซ้อนทับกับปุ่มฟันล่าง	218
รูปที่ 13.14 แสดงปีกกัดสบไม่อยู่กึ่งกลางฟิล์ม ไม่เห็นความผิดปกติที่คอฟันและสัน กระดูกเบ้าฟันบนได้	218
รูปที่ 13.15 แสดงระนาบสบฟันอยู่เฉียงแบบต่างๆ	218
รูปที่ 13.16 แสดงภาพรังสีด้านประชิดในผู้ป่วยที่ไม่มีฟันคู่สบ	219
รูปที่ 13.17 แสดงภาพรังสีด้านประชิดที่ครอบคลุมฟันและด้านประชิดเปิดทั้ง 4 ซี่	219
รูปที่ 13.18 แสดงการหึ่งออฟิล์มเพื่อถ่ายภาพรังสีเทคนิคด้านประชิดในฟันกรามน้อย	220
รูปที่ 13.19 แสดงการหึ่งออฟิล์มที่มุมล่างด้านหน้าของฟันกรามน้อยล่างซี่ที่ 1 สูงเกินไป	220
รูปที่ 13.20 แสดงภาพรังสีด้านประชิดในผู้ป่วยเด็กที่ถ่ายโดยใช้สแนปอะเรย์แทนปีกกัดสบ	220
รูปที่ 13.21 แสดงภาพรังสีด้านประชิดจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	221
บทที่ 14 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัดสบ	
รูปที่ 14.1 แสดงการถ่ายภาพรังสีตำแหน่งฟันกรามน้อย ฟันกรามบนขวาในผู้ป่วย คนเดียวกัน	225
รูปที่ 14.2 แสดงภาพรังสีกัดสบรายละเอียดเฉพาะส่วนแสดงรอยแยก	226
รูปที่ 14.3 แสดงภาพรังสีโอดอนโทมาบริเวรปลายรากฟันกรามน้อยบนขวา	227
รูปที่ 14.4 แสดงการถ่ายภาพรังสีกัดสบรายละเอียดเฉพาะส่วนบริเวณฟันหน้าบน	228

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 14.5 แสดงการถ่ายภาพรังสีกัดสกรายละเอียดเฉพาะส่วนบริเวณฟันหลังบน	228
รูปที่ 14.6 แสดงการถ่ายภาพรังสีกัดสกรายละเอียดเฉพาะส่วนในฟันหน้าล่าง	229
รูปที่ 14.7 แสดงการจัดท่าถ่ายภาพรังสีกัดสกรายละเอียดเฉพาะส่วนบริเวณฟันหลังล่าง	229
รูปที่ 14.8 แสดงการถ่ายภาพรังสีกัดสกรากตัดขวางในฟันหน้าบน	231
รูปที่ 14.9 แสดงการจัดท่าถ่ายภาพรังสีกัดสกรากตัดขวางในฟันหน้าล่าง	232
รูปที่ 14.10 แสดงการใช้ฟิล์มขนาด 2 ถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัดสกรายละเอียดเฉพาะ ส่วนในผู้ป่วยเด็ก	232
รูปที่ 14.11 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคกัดสกรในผู้ป่วยคนเดียวกัน	233
รูปที่ 14.12 แสดงการใช้ฟิล์มกัดสกรถ่ายภาพรังสีฟันเกินตรงกลาง	234
รูปที่ 14.13 แสดงภาพรังสีกัดสกรถ่ายภาพบริเวณขากรรไกรล่างส่วนท้ายฟันกรามในแนวหน้า หลัง	234
บทที่ 15 การประยุกต์วิธีการถ่ายภาพรังสีในปากในผู้ป่วยกรณีต่าง ๆ	
รูปที่ 15.1 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามบนซี่ที่สามซึ่งเป็นฟันคุด	239
รูปที่ 15.2 แสดงการวางฟิล์มแนวตั้งเพื่อถ่ายภาพรังสีฟันกรามบนคุดซี่ที่ 3	240
รูปที่ 15.3 แสดงการหนีบฟิล์มเพื่อถ่ายภาพรังสีฟันกรามล่างซี่ที่สาม	240
รูปที่ 15.4 แสดงภาพรังสีฟันกรามล่างซี่ที่สามเป็นฟันคุดเอียงแนวนอน	241
รูปที่ 15.5 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามล่างซี่ที่สามด้านซ้ายที่อยู่สูงกว่าระดับปกติ	242
รูปที่ 15.6 แสดงภาพฟันล้มในช่องปาก	243
รูปที่ 15.7 แสดงวิธีการถ่ายภาพรังสีฟันล้มทางด้านใกล้กลาง	243
รูปที่ 15.8 แสดงภาพปุ่มกระดูกขากรรไกรล่าง	244
รูปที่ 15.9 แสดงปุ่มกระดูกเพดานปาก	244
รูปที่ 15.10 แสดงการถ่ายภาพรังสีในปากผู้ป่วยที่ขากรรไกรล่างเบี้ยวไปด้านขวา	245
รูปที่ 15.11 แสดงเนื้อเยื่อในปากบวมบริเวณขากรรไกรล่างด้านขวา	246
รูปที่ 15.12 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามน้อยล่างขวาในผู้ป่วยไม่มีฟันทั้งปาก	247
รูปที่ 15.13 แสดงการถ่ายภาพรังสีในผู้ป่วยฝังรากเทียมรากเดียว	247
รูปที่ 15.14 แสดงการฝังรากเทียมในผู้ป่วยที่ไม่มีฟันในช่องปากเลย	248
รูปที่ 15.15 แสดงการถ่ายภาพรังสีบริเวณฟันเขี้ยวบนด้านขวา ในผู้ป่วยที่ไม่มีเพดานปาก	248
รูปที่ 15.16 แสดงวิธีการสอดฟิล์มเข้าในช่องปากผู้ป่วย เพื่อถ่ายภาพรังสีจุติภาคที่สอง หรือ จตุภาคที่สี่	249

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 15.17 แสดงการใช้ฟิล์มเบอร์ 0 แทนเบอร์ 2 วางฟิล์มแนวตั้ง เพื่อลดการสัมผัส เนื้อเยื่อผู้ป่วย	250
รูปที่ 15.18 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามล่างด้วยการถ่ายภาพรังสีนอกปาก	250
รูปที่ 15.19 แสดงนิ้วในท่อน้ำลายสเต็มเซ็น	251
รูปที่ 15.20 แสดงส่วนยื่นคอโรนอยด์บังทาบทูเบอร์โรซิติ	251
รูปที่ 15.21 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามบนซึ่งทั้งสองด้านซ้าย	252
รูปที่ 15.22 แสดงการถ่ายภาพรังสีฟันกรามบนซึ่งที่หนึ่งด้านขวา	252
บทที่ 16 การถ่ายภาพรังสีนอกปาก	
รูปที่ 16.1 แสดงการถ่ายภาพรังสีกะโหลกศีรษะในแนวหลังหน้า	264
รูปที่ 16.2 แสดงการถ่ายภาพรังสีกระดูกขากรรไกรล่างในแนวหลังหน้า	265
รูปที่ 16.3 แสดงการถ่ายภาพรังสีท้าวอเตอร์สโปรเจกชัน	266
รูปที่ 16.4 แสดงการถ่ายภาพรังสีทาร์เวอรัสทาวน์	267
รูปที่ 16.5 แสดงการจัดทำผู้ป่วยในการถ่ายภาพรังสีกระดูกขากรรไกรทางด้านข้างแบบเฉียง	269
รูปที่ 16.6 แสดงภาพรังสีกระดูกขากรรไกรทางด้านข้างแบบเฉียง	269
รูปที่ 16.7 แสดงภาพรังสีทรานส์เครเนียล	272
รูปที่ 16.8 แสดงตัวอย่างภาพข้อต่อขากรรไกรที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	272
รูปที่ 16.9 แสดงการถ่ายภาพรังสีทาส์เมนโตเวอร์เทค	273
รูปที่ 16.10 แสดงข้อผิดพลาดจากการเปิดช่องให้ลำรังสีออกไม่ครอบคลุมฟิล์ม	274
รูปที่ 16.11 แสดงข้อผิดพลาดจากการวางฟิล์มไม่ตรงกับศีรษะและช่องที่ลำแสงออก	274
รูปที่ 16.12 แสดงข้อผิดพลาดจากการวางศีรษะไม่ตรงกับฟิล์ม	275
รูปที่ 16.13 แสดงความดำภาพไม่สม่ำเสมอ	275
รูปที่ 16.14 แสดงภาพรังสีกะโหลกศีรษะผู้ป่วยที่ไม่ได้ถอดเครื่องมือจัดฟันชนิดถอดได้ ก่อนถ่ายภาพรังสี	276
รูปที่ 16.15 แสดงภาพรังสีกะโหลกศีรษะที่มีรอยครูดลักษณะเป็นเส้นโป่งรังสี	276
บทที่ 17 การถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	
รูปที่ 17.1 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกและเครื่องถ่ายภาพรังสี แพโนรามาในเครื่องเดียวกัน	283
รูปที่ 17.2 แสดงอุปกรณ์ยึดศีรษะในเครื่องถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	284

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 17.3 แสดงการถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกด้านข้าง	285
รูปที่ 17.4 แสดงการถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกด้านหลัง หน้า	287
รูปที่ 17.5 แสดงตำแหน่งโครงสร้างในภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	290
รูปที่ 17.6 แสดงระนาบและมุมในภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	290
รูปที่ 17.7 แสดงระดับการขยายขนาดในภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก ด้านที่ซิดฟิล์มจะมี การขยายขนาดน้อยกว่าด้านที่อยู่ไกลฟิล์ม	291
รูปที่ 17.8 แสดงภาพไม่คมชัด เนื่องจากผู้ป่วยเคลื่อนไหวศีรษะขณะถ่ายภาพรังสี	292
รูปที่ 17.9 แสดงเอียร์ร็อด 2 ข้างไม่ซ้อนทับกัน	293
รูปที่ 17.10 แสดงเนื้อเยื่ออ่อนบริเวณริมฝีปากหดเกร็ง	293
รูปที่ 17.11 แสดงข้อผิดพลาดบนภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกเกี่ยวกับการสบฟัน	294
รูปที่ 17.12 แสดงการจัดท่าที่ระนาบแฟรงก์พอร์ตไม่ขนานพื้น	294
รูปที่ 17.13 แสดงภาพรังสีเซฟฟาโลแกรมที่ใช้แผ่นกรองรังสีบริเวณใบหน้าต่างกัน	295
รูปที่ 17.14 ภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก แสดงผู้ป่วยใส่ฟันปลอม	295
รูปที่ 17.15 แสดงข้อผิดพลาดบนภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	296
รูปที่ 17.16 แสดงการใช้ฟิล์มหมดอายุมาถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	296
รูปที่ 17.17 แสดงฟิล์มได้รับแสงก่อนถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริก	297
รูปที่ 17.18 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกแบบดิจิทัล	297

บทที่ 18 การถ่ายภาพรังสีแพโนรามา

รูปที่ 18.1 แสดงหลักการสร้างภาพด้วยลำรังสีแบบสลิทบีมและแบบลำรังสีเปิดกว้าง	305
รูปที่ 18.2 แสดงหลักการถ่ายภาพรังสีโทโมแกรม	306
รูปที่ 18.3 แสดงลักษณะ 3 มิติของโพคัลทรีออฟ	307
รูปที่ 18.4 แสดงหลักการสร้างภาพรังสีแพโนรามา	308
รูปที่ 18.5 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	308
รูปที่ 18.6 แสดงการจัดท่าเพื่อถ่ายภาพรังสีแพโนรามา	311
รูปที่ 18.7 แสดงการจัดศีรษะผู้ป่วยให้เส้นกึ่งกลางศีรษะตั้งฉากกับพื้น ระนาบ แฟรงก์พอร์ตขนานพื้น	311
รูปที่ 18.8 แสดงลักษณะภาพรังสีแพโนรามา	311
รูปที่ 18.9 แสดงผลกระทบของการจัดทำต่อลักษณะภาพรังสีแพโนรามาที่ปรากฏ	312
รูปที่ 18.10 แสดงการถ่ายภาพรังสีแพโนรามาในผู้ป่วยรอนดอน	313

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 18.11 แสดงการถ่ายภาพรังสีแพโนรามาในผู้ป่วยเด็ก	314
รูปที่ 18.12 แสดงภาพฟันหน้าไม่ชัดและขนาดแคบกว่าปกติเมื่อกระดูกขากรรไกรอยู่หน้าต่อโพคัลหรือฟ	315
รูปที่ 18.13 แสดงภาพฟันหน้าขยายขนาดเมื่อกระดูกขากรรไกรอยู่ด้านหลังต่อโพคัลหรือฟ	315
รูปที่ 18.14 แสดงลักษณะภาพรังสีแพโนรามา เมื่อผู้ป่วยหันหน้าไปทางขวา	316
รูปที่ 18.15 แสดงภาพรังสีแพโนรามาเปรียบเทียบการจัดศีรษะในผู้ป่วยคนเดียวกัน	316
รูปที่ 18.16 แสดงลักษณะภาพรังสีแพโนรามาในผู้ป่วยคนเดียวกันที่จัดศีรษะต่างกัน	317
รูปที่ 18.17 แสดงภาพรังสีแพโนรามา เมื่อผู้ป่วยพับศีรษะลงทางด้านซ้าย	317
รูปที่ 18.18 ภาพรังสีแพโนรามาที่ผู้ป่วยขยับศีรษะระหว่างถ่ายภาพรังสี	318
รูปที่ 18.19 ภาพรังสีแพโนรามาที่ผู้ป่วยกลืนน้ำลายขณะถ่ายภาพรังสี	318
รูปที่ 18.20 แสดงเงาดำขนาดใหญ่ภายใต้เพดานแข็ง	319
รูปที่ 18.21 เงาของกระดูกสันหลัง บดบังอวัยวะบริเวณฟันหน้าล่าง	319
รูปที่ 18.22 แสดงเงาที่บรังสีของเสื้อตะกั่วบริเวณฟันหน้าล่าง	320
รูปที่ 18.23 แสดงเงาที่บรังสีของวัตถุแปลกปลอมบนภาพรังสีแพโนรามา	320
รูปที่ 18.24 แสดงภาพหลอกของต่างหู	321
รูปที่ 18.25 แสดงการจัดท่าเพื่อลดการบังทับในภาพรังสีแพโนรามาในผู้ป่วยคนเดียวกัน	322
รูปที่ 18.26 แสดงภาพรังสีแพโนรามาเมื่อเครื่องหยุดระหว่างถ่ายภาพรังสี	323
รูปที่ 18.27 แสดงภาพรังสีแพโนรามาเมื่อผู้ป่วยเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของเครื่อง	323
รูปที่ 18.28 แสดงตลับฟิล์มหยุดการเคลื่อนที่ระหว่างถ่ายภาพรังสี	324
รูปที่ 18.29 แสดงภาพรังสีแพโนรามาที่เกิดจากใส่ตลับฟิล์มกลับด้าน	324
รูปที่ 18.30 แสดงภาพรังสีแพโนรามาฟิล์มได้รับแสงจากภายนอก	325
รูปที่ 18.31 แสดงภาพรังสีแพโนรามาที่ฟิล์มมืดหรือดำเกินไป	326

บทที่ 19 การถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัล

รูปที่ 19.1 แสดงความแตกต่างของนาฬิกา 2 ชนิด	334
รูปที่ 19.2 แสดงการแปลงข้อมูลจากข้อมูลที่ต่อเนื่องไปเป็นข้อมูลจำนวนนับ	335
รูปที่ 19.3 แสดงตัวรับภาพระบบดิจิทัล	335
รูปที่ 19.4 แสดงภาพดิจิทัล	336
รูปที่ 19.5 แสดงแผ่นบันทึกภาพฟอสฟอรัสสำหรับถ่ายในปาก	339
รูปที่ 19.6 แสดงตัวอย่างเครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพฟอสฟอรัส	339

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 19.7 แสดงแผ่นบันทึกภาพฟอสฟอรัสที่บรรจุในช่องพลาสติกป้องกันการติดเชื้อ	339
รูปที่ 19.8 แสดงแผ่นบันทึกภาพฟอสฟอรัสสำหรับถ่ายภาพรังสีนอกปาก	340
รูปที่ 19.9 แสดงตัวรับภาพชนิดซีซีดีสำหรับถ่ายภาพรังสีในปาก	340
รูปที่ 19.10 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีระบบดิจิทัล	342
รูปที่ 19.11 แสดงอุปกรณ์ยึดเซนเซอร์	343
รูปที่ 19.12 แสดงความแตกต่างของฟลักซ์ในการแสดงภาพ	344
รูปที่ 19.13 แสดงตัวอย่างการสร้างฮิสโตแกรมของภาพดิจิทัล	346
รูปที่ 19.14 แสดงการปรับความสว่างของภาพรังสีระบบดิจิทัลด้วยฮิสโตแกรม	346
รูปที่ 19.15 แสดงการปรับความเปรียบต่างของภาพรังสีระบบดิจิทัล	346
รูปที่ 19.16 แสดงการปรับแต่งภาพแบบการกลับภาพ	347
รูปที่ 19.17 แสดงการปรับแต่งภาพแบบเพิ่มความคมชัดของภาพ	347
รูปที่ 19.18 แสดงการปรับแต่งภาพ	347
รูปที่ 19.19 แสดงเครื่องดราฟพรินเตอร์	349

บทที่ 20 การหาตำแหน่งโดยการฉายรังสี

รูปที่ 20.1 แสดงการหาตำแหน่งฟันโดยการตรวจดูความชัดของภาพ	358
รูปที่ 20.2 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการตรวจดูกำลังขยายของภาพ	359
รูปที่ 20.3 แสดงเทคนิคการใช้มุมฉาก เพื่อตรวจดูฟันกรามล่างขวาซี่ที่ 2	359
รูปที่ 20.4 แสดงเทคนิคการใช้มุมฉาก เพื่อตรวจดูฟันเขี้ยวบนขวาที่ขึ้นไม่ได้	360
รูปที่ 20.5 แสดงเทคนิคการใช้มุมฉาก เพื่อตรวจดูตำแหน่งฟันเขี้ยวบนคุด	360
รูปที่ 20.6 แสดงการถ่ายภาพรังสี 2 ภาพ เพื่อตรวจดูตำแหน่งฟันกรามบนที่ยังไม่ขึ้น	360
รูปที่ 20.7 แสดงการถ่ายภาพรังสี 2 ภาพ เพื่อตรวจดูฟันและพยาธิสภาพด้านบนขวา	361
รูปที่ 20.8 แสดงการถ่ายภาพรังสี 2 ภาพ เพื่อหาตำแหน่งในการฝังรากเทียม	361
รูปที่ 20.9 แสดงการปรับเลื่อนกระบอกรังสีในแนวระนาบ	362
รูปที่ 20.10 แสดงการปรับเลื่อนกระบอกรังสีเพื่อหาตำแหน่งฟันเกินตรงกลาง	363
รูปที่ 20.11 แสดงการอ่านภาพรังสีระบุตำแหน่งฟันเกินตรงกลาง	364
รูปที่ 20.12 แสดงการถ่ายภาพรังสี 2 วิธี เพื่อช่วยหาตำแหน่งฟันตัดซี่กลางด้านขวา	365
รูปที่ 20.13 แสดงภาพรังสีเซฟด้านข้างของผู้ป่วยในรูปที่ 20.12 ระบุตำแหน่งตัดซี่กลาง	365
รูปที่ 20.14 แสดงภาพรังสีฟันเกินตรงกลาง	366
รูปที่ 20.15 แสดงการเลื่อนกระบอกรังสีแนวระนาบ เพื่อแสดงปลายรากฟันกรามบนซี่ที่ 1	367
รูปที่ 20.16 แสดงการเลื่อนกระบอกรังสีแนวตั้ง เพื่อแสดงปลายรากฟันกรามบนซี่ที่ 1	367

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 20.17 แสดงการหาค่ามุมเพื่อหาตำแหน่งพื้นเขียวบนคูด	368
รูปที่ 20.18 แสดงตำแหน่งพื้นเขียวบนคูดอยู่ชิดด้านไกลกลางของพื้นตัดซี่ข้าง	369
รูปที่ 20.19 แสดงการวัดขนาดในการหาอัตราส่วนขนาดพื้นเขียวต่อขนาดพื้นตัดซี่กลาง	369
บทที่ 21 การถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย	
รูปที่ 21.1 แสดงนิวในท่อน้ำลายใต้ขากรรไกรล่างด้านซ้าย	378
รูปที่ 21.2 แสดงการถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจหานิวในท่อน้ำลายหน้าหู	378
รูปที่ 21.3 แสดงภาพรังสีแก้มด้านในฟันกรามบน พบนิวน้ำลายในท่อน้ำลายหน้าหู	378
รูปที่ 21.4 แสดงลักษณะภาพรังสีท่อน้ำลายที่มีการฉีดสารทึบรังสีเข้าในท่อน้ำลาย	380
รูปที่ 21.5 แสดงระยะการถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย	380
รูปที่ 21.6 แสดงการเตรียมเครื่องมือและเตรียมจัดทำผู้ป่วยก่อนถ่ายภาพรังสีท่อน้ำลาย	382
รูปที่ 21.7 แสดงการถ่ายภาพรูเปิดของท่อน้ำลาย	383
รูปที่ 21.8 การกำกับปริมาณของสารทึบรังสีผ่านทางหน้าจอ	383
รูปที่ 21.9 แสดงลักษณะของท่อและต่อมน้ำลายหน้าหู	386
รูปที่ 21.10 แสดงลักษณะของท่อและต่อมน้ำลายใต้ขากรรไกรล่าง	387
รูปที่ 21.11 แสดงท่อน้ำลายของต่อมน้ำลายใต้ขากรรไกรล่างอุดตัน	388
รูปที่ 21.12 แสดงภาพรังสีท่อน้ำลายกรณีที่เป็นท่อน้ำลายอักเสบ	389
รูปที่ 21.13 แสดงภาพรังสีท่อน้ำลายของเนื้องอกภายในต่อมน้ำลายหน้าหู	390
บทที่ 22 การถ่ายภาพรังสีเทคนิคพิเศษ	
รูปที่ 22.1 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีโทโมแกรมแบบต่าง ๆ	397
รูปที่ 22.2 แสดงภาพโทโมแกรมของโพรงอากาศขากรรไกรบนที่ระดับความลึกต่างกัน	397
รูปที่ 22.3 แสดงภาพโทโมแกรมข้อต่อขากรรไกรที่ระดับความลึกต่าง ๆ	398
รูปที่ 22.4 แสดงการตัดระนาบหน้า หลัง ตัวพื้นเพื่อถ่ายภาพรังสีโทโมแกรม	398
รูปที่ 22.5 แสดงภาพโทโมแกรมของขากรรไกรล่าง	398
รูปที่ 22.6 แสดงหลักการสร้างภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์	400
รูปที่ 22.7 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์	401
รูปที่ 22.8 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม	403
รูปที่ 22.9 แสดงลักษณะภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม	403
รูปที่ 22.10 แสดงลักษณะภาพการสแกนกระดูกข้อต่อขากรรไกร	406
รูปที่ 22.11 แสดงเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์	409

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 22.12 แสดงภาพเอ็มอาร์ของข้อต่อขากรรไกร	409
รูปที่ 22.13 แสดงหลักการสร้างภาพคลื่นเสียงความถี่สูง	411
รูปที่ 22.14 แสดงอุปกรณ์ถ่ายภาพคลื่นเสียงความถี่สูง	411
รูปที่ 22.15 แสดงการถ่ายภาพคลื่นเสียงความถี่สูง	411
รูปที่ 22.16 แสดงการถ่ายภาพรังสีอินฟราเรดเทอร์โมกราฟี	412
รูปที่ 22.17 แสดงการถ่ายภาพรังสีอินฟราเรดเทอร์โมกราฟีมือ	413
 บทที่ 23 การเลือกเทคนิคถ่ายภาพรังสีในงานทันตกรรม	
รูปที่ 23.1 แสดงความผิดปกติที่คอหอยส่วนจมูก	421
รูปที่ 23.2 แสดงความผิดปกติที่ต่อมน้ำลายแพโรติด้วยภาพคลื่นเสียงความถี่สูง	422
รูปที่ 23.3 แสดงวัสดุที่บ่งชี้ช่วยระบุตำแหน่งและทิศทางเพื่อการฝังรากเทียม	423
รูปที่ 23.4 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคขนานเมื่อฝังรากเทียมฟันกรามล่างขวาซี่ที่หนึ่ง	424
รูปที่ 23.5 แสดงภาพรากเทียมในภาพรังสีรอบปลายรากฟันเทคนิคขนาน	424
รูปที่ 23.6 แสดงการถ่ายภาพรังสีเทคนิคแบ่งครึ่งมุมในผู้ป่วยฝังรากฟันเทียม	425
รูปที่ 23.7 แสดงการถ่ายภาพรังสีรากเทียมด้วยฟิล์มถ่ายภาพรังสีรอบปลายราก	425
รูปที่ 23.8 แสดงภาพรังสีแพโนรามาเพื่อประเมินกระดูกขากรรไกรก่อนฝังรากเทียม	426
รูปที่ 23.9 แสดงภาพรังสีเซฟฟาโลเมทริกของผู้ป่วยไร้ฟัน	427
รูปที่ 23.10 แสดงภาพรังสีโทโมแกรมเพื่อฝังรากเทียมที่ฟันกรามน้อยล่างซ้ายซี่ที่สอง	427
รูปที่ 23.11 ภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีมในงานทันตกรรมรากเทียม	428
รูปที่ 23.12 แสดงรูปร่างข้อต่อขากรรไกรด้านขวาขยายขนาดผิดปกติ	431
รูปที่ 23.13 ภาพรังสีแพโนรามาแสดงการแตกหักของข้อต่อขากรรไกรทั้ง 2 ด้าน	431
รูปที่ 23.14 แสดงรังสีโทโมแกรมข้อต่อขากรรไกรที่ระดับความลึกต่าง ๆ	431
รูปที่ 23.15 แสดงภาพเอ็มอาร์ของข้อต่อขากรรไกร	433
รูปที่ 23.16 แสดงรูปร่างหัวข้อต่อขากรรไกรด้านขวา (ศรีษะ) ต่างจากด้านซ้าย	434
รูปที่ 23.17 แสดงการแตกหักของกระดูกขากรรไกรล่างและคอข้อต่อขากรรไกร	436
รูปที่ 23.18 ภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีมแสดงกระดูกแตกหักที่	438
รูปที่ 23.19 แสดงปลายรากฟันกรามล่างซี่ที่สามซ้อนทับกับคลองขากรรไกรล่าง	440
รูปที่ 23.20 แสดงความสัมพันธ์ของปลายรากฟันกรามล่างซี่ที่สามกับคลองขากรรไกร	440
รูปที่ 23.21 แสดงการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากฟันหน้าบน พบเงาที่บ่งชี้	441
รูปที่ 23.22 แสดงภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม ในผู้ป่วยรูปที่ 23.21	441
รูปที่ 23.23 แสดงเงาโปร่งรังสีแบบหลายช่องบริเวณโหนกแก้มด้านซ้าย	442
รูปที่ 23.24 แสดงโพรงอากาศฟันอยุ่ที่มีการขยายขนาด	442

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 23.25 แสดงสันกระดูกเบ้าฟันขรุขระเล็กน้อย โพรงอากาศด้านซ้ายขึ้น	443
รูปที่ 23.26 แสดงการละลายตัวของกระดูกที่บดด้านหน้าข้อต่อขากรรไกรเล็กน้อย	443
รูปที่ 23.27 แสดงก้อนเนื้อขนาดใหญ่เต็มคอหอยส่วนจมูก	444
รูปที่ 23.28 แสดงภาพรังสีแพโนรามาตัดมาเฉพาะบริเวณฟันกรามด้านขวา	444
รูปที่ 23.29 แสดงเยื่อหุ้มกระดูกอักเสบในภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม	445
รูปที่ 23.30 แสดงภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีมกรณีที่เป็นโอดอนโท เจนิกมิกโซมา	445

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1	แสดงผลของรังสีเมื่อได้รับรังสีทั่วทั้งตัวแบบเฉียบพลัน
ตารางที่ 2.2	แสดงความไวของเซลล์และเนื้อเยื่อต่อรังสี
ตารางที่ 2.3	แสดงปริมาณรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีเทคนิคต่าง ๆ
บทที่ 22	
ตารางที่ 22.1	แสดงค่าซีทีนัมเบอร์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย

ตอนที่ 1

พื้นฐานการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม

บทที่	หน้า
1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรังสีเอกซ์	3
2 อันตรายจากรังสีเอกซ์และการป้องกัน	21
3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	45
4 ห้องมืดและการล้างฟิล์ม	79
5 หลักการสร้างภาพรังสี และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพภาพรังสี	95
6 ความผิดพร่องฟิล์ม	113
7 อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจดูภาพรังสีและการเรียงฟิล์ม	129
8 การควบคุมการติดเชื้อ	141
9 โครงสร้างทางกายวิภาคในการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม	153

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรังสีเอกซ์

หัวข้อ	หน้า
• บทนำ	5
• ประวัติการค้นพบรังสีเอกซ์	5
• สสารและพลังงาน	6
• โครงสร้างอะตอม	7
• รูปแบบพลังงาน	10
• การผลิตรังสีเอกซ์	10
• คุณสมบัติของรังสีเอกซ์	13
• ปฏิกริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร	13
• การนำรังสีเอกซ์มาสร้างภาพในงานทันตกรรม	19
• บทสรุป	19

บทนำ

ความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมและปฏิกิริยาของอะตอมเป็นพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับรังสีเอกซ์และนำไปสู่การนำรังสีเอกซ์มาใช้ในการสร้างภาพรังสีสำหรับงานวินิจฉัยโรคทางทันตกรรม ตลอดจนช่วยให้เข้าใจหลักการและวิธีการสร้างภาพทางทันตกรรมแบบอื่น ๆ ที่ใช้ในทางทันตแพทยศาสตร์ซึ่งมีพัฒนาการเป็นลำดับเรื่อยมา ในบทนี้จะได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานดังกล่าว

ประวัติการค้นพบรังสีเอกซ์¹

รังสีเอกซ์ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อวันศุกร์ที่ 8 พฤศจิกายน ค.ศ.1895 (พ.ศ. 2438) โดยศาสตราจารย์ วิลเฮม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Roentgen) ซึ่งเป็นศาสตราจารย์ทางฟิสิกส์และเป็นผู้บัญชาการสถาบันฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยวูซบูก (Würzburg) ประเทศเยอรมนี โดยได้ค้นพบรังสีเอกซ์โดยบังเอิญขณะทำการทดลองเกี่ยวกับหลอดแก้วที่สุบอากาศออกเกือบหมด (hiltorf-crookes tube) หลอดแก้วนี้ประกอบด้วยขั้วลบ ซึ่งเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจะปล่อยอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุลบวิ่งเข้าชนขั้วบวก (anode) และผนังของหลอดแก้ว ก่อให้เกิดการเรืองแสงออกมาที่บริเวณหลอดแก้ว แต่ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า แผ่นกระดาษที่ถูกฉาบด้วยแบเรียมแพลตตินိုไซยาไนด์ (barium platinocyanide) ซึ่งอยู่ห่างออกไปประมาณ 1 หลา สามารถเรืองแสงได้ทั้งๆที่เขาได้ห่อหุ้มหลอดแก้วด้วยกระดาษดำ เพื่อว่าจะได้ไม่มีแสงใดสามารถทะลุออกมานอกหลอดแก้วนี้ได้ จึงคิดว่าน่าจะมีรังสีที่เราไม่รู้จักตัวหนึ่งให้ชื่อว่า รังสีเอกซ์ (x-ray) เป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านความหนาของหลอดแก้วและกระดาษดำไปทำให้แผ่นแบเรียมแพลตตินโอไซยาไนด์เรืองแสงได้และเมื่อได้ทดลองเอามือขวางไว้ก็จะพบเงาของกระดูกมือและเนื้อเยื่อปรากฏออกมา เขาจึงได้ทดลองถ่ายภาพรังสีมือกรรยาตนเองโดยใช้แผ่นฟิล์มเป็นตัวรับภาพถ่ายภาพรังสีแล้วนำไปล้างก็จะได้ภาพเงากระดูกและเนื้อเยื่อของมือกรรยาของเขา การค้นพบนี้ ส่งผลให้เรินต์เกนได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1901

หลังจาก เรินต์เกนได้ตีพิมพ์เผยแพร่การค้นพบรังสีเอกซ์ได้ประมาณ 14 วัน ดอกเตอร์ ออตโต วอร์คฮอฟ (Dr. Otto Walkhoff) ทันตแพทย์ชาวเยอรมัน เมืองบราวน์ชไวน์ (Braunschwein) ได้ทำการทดลองถ่ายภาพรังสีฟันตนเองเป็นครั้งแรกได้สำเร็จ เมื่อวันที่ 14 มกราคม ค.ศ. 1896 (พ.ศ. 2439) โดยใช้แผ่นแก้วฉาบด้วยสารสร้างภาพ (glass photographic plate) ห่อหุ้มด้วยกระดาษดำป้องกันแสง และแผ่นยางบางๆ (rubber dam) เพื่อป้องกันความชื้น ใช้เวลาถ่ายภาพรังสีนานถึง 25 นาที เนื่องจากไม่ทราบถึงอันตรายของรังสีเอกซ์ ต่อมาในเดือน กรกฎาคม ค.ศ. 1896 แฟรงค์ แฮร์ริสัน (Frank Harrison) ทันตแพทย์ชาวอังกฤษ ได้รายงานถึงอันตรายของรังสีเอกซ์ และวิลเลียมส์ เฮอร์เบิร์ต โรลลินส์ (William Herbert Rollins) ทันตแพทย์เมืองบอสตัน ได้ทำการทดลองผลของรังสีเอกซ์ต่อสัตว์ และได้รายงานในปี ค.ศ. 1898 (พ.ศ. 2441) ว่า รังสีเอกซ์จะทำให้ผิวหนังแสบร้อน (burn) หรือแม้แต่ตายได้ แต่ในสมัยนั้น ยังไม่ค่อยมีใครเชื่อเชื่อนัก จึงทำให้ผู้บุกเบิกทางการถ่ายภาพรังสีโดยใช้รังสีเอกซ์หลายคนป่วยด้วยโรคมะเร็งหรือต้องเสียชีวิตลงเนื่องจากได้รับรังสีเกินขนาด² ต่อมา จึงมีการพัฒนาเครื่องมืออุปกรณ์ เทคนิควิธีการ

การถ่าย ตลอดจนแนวทางต่าง ๆ ในการถ่ายภาพรังสีเพื่อให้ได้ภาพรังสีที่มีคุณภาพดีขึ้นและผู้ป่วยได้รับอันตรายจากรังสีเอ็กซ์น้อยที่สุด

สสารและพลังงาน (matter and energy)³

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าโลกนี้ประกอบด้วยสสารและพลังงาน สสาร คือ อะไรก็ได้ที่มีมวลและต้องการที่อยู่ ดังนั้นสิ่งที่เรามองเห็น (หรืออาจมองไม่เห็น เช่น ก๊าซ) และจับต้องได้ คือ สสาร ซึ่งอาจมีรูปร่างและส่วนประกอบแตกต่างกันไป พลังงานคือ ความสามารถที่จะทำงานและเอาชนะแรงต้านทาน พลังงานอาจจะอยู่ในรูปแบบใดก็ได้ เช่น พลังงานศักย์ (potential energy) พลังงานจลน์ (kinetic energy) พลังงานเคมี (chemical energy) พลังงานไฟฟ้า (electrical energy) เป็นต้น ทั้งสสารและพลังงานมีความสัมพันธ์กันโดยอาจเปลี่ยนรูปกันไปมาตามธรรมชาติ หรือทำขึ้นมา อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ผู้ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1921 ได้กล่าวถึงทฤษฎีสัมพันธภาพ (theory of relativity) ว่ามวลและพลังงานไม่มีวันสูญหาย มวลและพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปกันได้ โดยมีความสัมพันธ์กัน ดังสมการ พลังงาน (E) เท่ากับ มวล (m) คูณความเร็วแสง (c) ยกกำลังสอง ($E = mc^2$)

สสาร

สสารแบ่งได้เป็น สารเนื้อเดียว (homogeneous substance) และสารเนื้อผสม (heterogeneous substance) สารเนื้อเดียวยังแบ่งได้เป็น สารบริสุทธิ์ (pure substance) และสารละลาย (solution) สารบริสุทธิ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ธาตุ (element) และสารประกอบ (compound)

ธาตุ คือ สารบริสุทธิ์เนื้อเดียวที่ประกอบที่ประกอบด้วยอะตอมเพียงชนิดเดียว ไม่สามารถแยกออกเป็น ส่วนประกอบย่อย ๆ ส่วนประกอบที่เล็กที่สุดที่ยังคงคุณสมบัติของธาตุ คือ อะตอม ธาตุต่างชนิดกันสามารถรวมตัวกันหรือทำปฏิกิริยากันกลายเป็นสารประกอบชนิดต่าง ๆ มีสถานะต่าง ๆ ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น การนำความร้อน การนำไฟฟ้า ความเป็นมันวาว ความเปราะ ความเหนียว จุดหลอมเหลว จุดเดือด ความเป็นกรดต่างของออกไซด์ ด้วยเกณฑ์เหล่านี้ สามารถแบ่งธาตุออกเป็น โลหะ อโลหะ และ กึ่งโลหะ ธาตุใดที่มีสมบัติของโลหะจะจัดว่าเป็นโลหะ ธาตุใดที่มีคุณสมบัติของอโลหะ จะจัดว่าเป็นอโลหะ ถ้ามีคุณสมบัติก้ำกึ่งกัน จะเรียกว่าธาตุกึ่งโลหะ

โลหะ หมายถึง ธาตุที่นำไฟฟ้าได้ดีในทุกทิศทางและนำไฟฟ้าได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เช่น โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) อะลูมิเนียม (Al) ทองแดง (Cu) และ เหล็ก (Fe) เป็นต้น การที่โลหะนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี เพราะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนซึ่งสามารถเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้

อโลหะ หมายถึง ธาตุที่ไม่นำไฟฟ้า หรือนำไฟฟ้าได้น้อยมาก เช่น ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไอโอดีน (I) ฟลูออรีน (F) และคลอรีน (Cl) เป็นต้น

ธาตุกึ่งโลหะ หมายถึง ธาตุที่นำไฟฟ้าได้บ้างที่อุณหภูมิปกติและนำไฟฟ้าได้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เช่น ซิลิกอน (Si) โบรอน (B) และอาร์ซีนิก (As) เป็นต้น

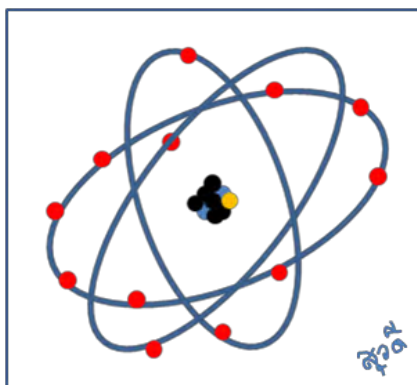
ความแตกต่างของธาตุ ธาตุแต่ละตัวมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อธิบายได้ด้วยส่วนประกอบย่อยๆ ของธาตุ ได้แก่ อะตอม และการจัดเรียงตัวของอะตอม เรานำธาตุแต่ละตัวมาใช้ตามความเหมาะสมของคุณสมบัติของธาตุ เช่น ใช้ทั้งสแตนเป็นฉนวน (เคโรต) เพราะมีเลขอะตอมสูง (74) ให้ปริมาณอิเล็กตรอนมาก ใช้ทองแดงที่ฉนวนเพราะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงช่วยระบายความร้อน เป็นต้น

โครงสร้างอะตอม

มีผู้เสนอโครงสร้างอะตอมหลายแบบ แต่แบบที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกับสสารและพลังงานได้ดี คือ แบบจำลองอะตอมของนีลส์ บอห์ (Neils Bohr)

โครงสร้างอะตอมของนีลส์ บอห์ ประกอบด้วย **นิวเคลียส** ซึ่งมีอนุภาคที่เรียกว่า **นิวคลีออน** อาจเป็น **โปรตอน** หรือ **นิวตรอน** อยู่ตรงกลาง โปรตอน มีประจุบวก นิวตรอนไม่มีประจุ มีอิเล็กตรอนซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุลบวิ่งล้อมรอบ ลักษณะคล้ายวงโคจรของดาวเคราะห์ที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะจักรวาล อะตอมจะมีสถานะเป็นกลางเมื่อจำนวนประจุบวกในนิวเคลียส มีค่าเท่ากับจำนวนประจุลบของอิเล็กตรอนในวงโคจร **อิเล็กตรอน** จะอยู่ในวงโคจรได้โดยสมดุลระหว่างแรงดึงดูดระหว่างประจุและแรงหนีศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นวงกลม อิเล็กตรอนวิ่งรอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆ (shell) ตามระดับพลังงาน อิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุดจะมีระดับพลังงานต่ำสุด อิเล็กตรอนที่อยู่ไกลออกไปจะมีระดับพลังงานสูงขึ้น ระดับพลังงานแต่ละชั้นจะเป็นค่าเฉพาะตัว เรียกชั้นแต่ละชั้นที่อิเล็กตรอนวิ่งตามลำดับจากในสุดไปหานอกสุด ซึ่งมีสูงสุด 7 ชั้น ดังนี้ เค (K) แอล (L) เอ็ม (M) เอ็น (N) โอ (O) พี (P) และคิว (Q) (รูปที่ 1.1) จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นจะมีค่าเท่ากับสองคูณชั้นของวงโคจร ยกกำลังสอง ($2n^2$) เมื่อ n คือชั้นของวงโคจร เช่น ชั้นเค มีอิเล็กตรอนจำนวน 2×1^2 เท่ากับ 2 เป็นต้น จำนวนและการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุ มีส่วนสัมพันธ์กับสมบัติต่างๆ ของธาตุ โดยเฉพาะสมบัติทางเคมีของธาตุ (เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาทางทันตรังสี จึงมีการเลือกใช้อะตอมของธาตุที่ต่างกันเพื่อวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน) ตัวอย่างการจัดเรียงตัวของอะตอมโซเดียม (11Na) = 2,8,1 อะตอมโพแทสเซียม (19K) = 2,8,8,1 เป็นต้น

พลังงานที่ดึงดูดอิเล็กตรอนไว้ในวงโคจร เรียกว่า พลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) การที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจร จะต้องใช้พลังงานเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของวงโคจรหรือชั้นนั้น อะตอมขนาดเล็กมีจำนวนโปรตอนน้อยจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวน้อย อะตอมขนาดใหญ่มีจำนวนโปรตอนมากจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวมาก



รูปที่ 1.1 โครงสร้างอะตอมมีนิวเคลียสตรงกลาง อิเล็กตรอนวิ่งล้อมรอบในวงโคจร

ขนาดของอะตอม อะตอมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 10^{-8} ซม. นิวเคลียสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 10^{-13} ซม.

เลขอะตอม (atomic number) เลขมวล (mass number) สัญลักษณ์นิวเคลียร์ (nuclear symbol)

เลขอะตอม หมายถึง จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสมีจำนวนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน เขียนแทนด้วยตัวอักษร Z

เลขมวล หมายถึง ผลบวกของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอนเขียนแทนด้วยตัวอักษร A

ถ้าให้ n = จำนวนนิวตรอน

เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเลขอะตอม เลขมวล และจำนวนนิวตรอน ดังนี้

เลขมวล = เลขอะตอม + จำนวนนิวตรอน

$$A = Z + n$$

การเขียนสัญลักษณ์นิวเคลียร์

เป็นการเขียนใช้แทนโครงสร้างของอะตอม โดยระบุรายละเอียดจำนวนอนุภาคมูลฐานของอะตอม ดังนี้ เขียนเลขมวลไว้มุมบนด้านซ้ายและเลขอะตอมไว้มุมล่างด้านซ้ายของสัญลักษณ์ธาตุ ตัวอย่างเช่น A_ZX (Z คือ สัญลักษณ์ธาตุ A คือ เลขมวล X คือ เลขอะตอม)

อะตอมของธาตุเดียวกัน อาจมีส่วนประกอบที่ต่างกันและเรียกชื่อต่างกัน ดังนี้

ไอโซโทป (isotope) หมายถึง อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอน (หรือ อิเล็กตรอน) เท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกันทำให้เลขมวลต่างกัน เช่น อะตอมคาร์บอน

${}^{12}_6C$ ${}^{13}_6C$ ${}^{14}_6C$ มีจำนวนโปรตอนเท่ากันคือ 6 แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน เป็น 6 7 8 เป็นต้น

ไอโซโทน (isotone) หมายถึง ธาตุต่างชนิดกันที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน เช่น 3_1H และ 4_2He มีจำนวนนิวตรอนเท่ากันคือ 2 (กรณีนี้เลขอะตอมและเลขมวลจะต่างกัน)

ไอโซบาร์ (isobar) หมายถึง ธาตุต่างชนิดกันที่มีเลขมวลเท่ากัน แต่เลขอะตอมต่างกัน เช่น ${}^3_1\text{H}$, ${}^3_2\text{H}$

ไอโซเมอร์ (isomer) หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมและเลขมวลเท่ากัน แต่มีระดับพลังงานไม่เท่ากัน เช่น Tc^{99} , $\text{Tc}^{99\text{m}}$ m ย่อมาจากคำว่า metastable คือ สลายได้

สิ่งควรทราบเกี่ยวกับอะตอม

1. ในสภาวะปกติ อะตอมจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า กล่าวคือ มีประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์ มีจำนวนโปรตอน เท่ากับ จำนวนอิเล็กตรอน

2. ภาวะถูกกระตุ้น (excited state) เมื่ออิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งได้รับพลังงาน อิเล็กตรอนจะกระโดดขึ้นไปสู่ชั้นที่มีพลังงานสูงกว่า เรียกสภาวะนี้ว่า ภาวะถูกกระตุ้น

3. ไอออนไนเซชัน (ionization) ไอออนไนเซชัน เป็นขบวนการดึงอิเล็กตรอนออกจากวงโคจรของอิเล็กตรอน รังสีซึ่งมีพลังงานมากพอที่จะดึงอิเล็กตรอนให้หลุดจากวงโคจรได้ เรียกว่า รังสีก่อไอออน (ionizing radiation) อิเล็กตรอนที่ถูกดึงออก เรียกว่า ประจุลบ (negative ion) และอะตอมที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไปเรียกประจุบวก (positive ion) เราจะเรียก ประจุบวกและประจุลบนี้ว่า คู่ประจุ (ion pairs) หรือ ประจุอิสระคู่ พลังงานของรังสีที่จะทำให้เกิดประจุอิสระคู่ได้จะต้องมากพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจร จึงจะเกิดไอออนไนเซชันได้ ประจุอิสระคู่ สามารถก่อให้เกิดผลทางชีวภาพมากมาย

รังสีที่สามารถก่อให้เกิดภาวะไอออนไนเซชันได้ ได้แก่ 1) รังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (natural radiation) ซึ่งมาจากแหล่งใหญ่ ๆ 3 แหล่ง คือ 1.1 รังสีคอสมิก (cosmic radiation) 1.2 รังสีจากพื้นโลก (terrestrial radiation) และ 1.3 รังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติภายในร่างกาย (radionuclides) เช่น โพแทสเซียม - 40 (${}^{40}_{19}\text{K}$) เป็นส่วนของเมตาบอลิซึมของร่างกายมนุษย์ และเป็นแหล่งของรังสีที่กระจายไปยังพื้นโลก 2) รังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ รังสีที่ใช้ในทางการแพทย์ พลังงานนิวเคลียร์ที่ใช้ในการเกษตร และอุตสาหกรรม เป็นต้น

ตัวอย่างของรังสีก่อไอออนในทางการแพทย์ ได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา รังสีอนุภาค (particulate radiation) เช่น อนุภาคแอลฟา (alpha particles) อนุภาคเบตา (beta particles) เป็นต้น

สารประกอบ คือ สารบริสุทธิ์ เนื้อเดียวที่เกิดจากการนำธาตุหรือสารประกอบมาทำปฏิกิริยากันในตอนเริ่มต้น ส่วนที่เล็กที่สุดของสารประกอบที่ยังคงคุณสมบัติของสารประกอบอยู่ เรียกว่า โมเลกุล แต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยอะตอมที่มารวมตัวกันด้วยพันธะต่างๆ เช่น โมเลกุลของเกลือแกง (NaCl) ได้จากอะตอมของโซเดียม (Na) รวมตัวกับอะตอมของคลอรีน (Cl) ด้วยพันธะไอออนิก (ionic bonding) โมเลกุลของน้ำเป็นการรวมตัวกันของอะตอมของไฮโดรเจนและอะตอมของออกซิเจนด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) เป็นต้น ตัวอย่าง โมเลกุลเหล่านี้ พบได้ทั่วไปในร่างกาย

รูปแบบพลังงาน

พลังงานมีหลายรูปแบบ ดังนี้

1. พลังงานศักย์ หมายถึง ความสามารถที่จะทำงาน
2. พลังงานจลน์ หมายถึง พลังงานขณะเคลื่อนที่
3. พลังงานเคมี หมายถึง พลังงานที่ถูกปลดปล่อยขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี
4. พลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ขณะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านเส้นลวด
5. พลังงานความร้อน (thermal energy) หมายถึง พลังงานของการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุล วัดโดยอุณหภูมิ

6. พลังงานนิวเคลียร์ (nuclear energy) หมายถึง พลังงานที่บรรจุอยู่ในนิวเคลียสของอะตอม

7. พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic energy) หมายถึง พลังงานลักษณะคล้ายคลื่นแผ่ไปในบรรยากาศด้วยความเร็วเท่าแสง (186,000 ไมล์/วินาที) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการสั่นสะเทือนของประจุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า ก็จะเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองจะตั้งฉากกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นได้แก่ พลังงานรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต ไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ เป็นต้น

พลังงานที่ใช้ในการสร้างภาพเพื่อการวินิจฉัยโรค

1. พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นพลังงานที่เรานำมาใช้ในรังสีวินิจฉัยมากที่สุด พลังงานคลื่นแม่เหล็ก และรังสีอินฟราเรด ภาพที่เกิดจากการใช้รังสีเอกซ์สร้างภาพ เรียก ภาพรังสี ภาพที่เกิดจากการใช้คลื่นแม่เหล็กสร้างภาพ เรียก ภาพเอ็มอาร์ (magnetic resonance image, MRI) ภาพที่เกิดจากการใช้รังสีอินฟราเรด เรียก ภาพอินฟราเรด (infrared image) หรือ เทอร์โมกราฟี (thermography)

2. คลื่นเสียงเพื่อการสร้างภาพ เรียก การสร้างภาพคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasonography)

3. พลังงานนิวเคลียร์ ใช้สร้างภาพจากคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีที่จับกับอวัยวะเป้าหมายในร่างกาย (target) และปล่อยรังสีแกมมาให้ตรวจจับได้ เพื่อนำมาสร้างภาพ

การผลิตรังสีเอกซ์ (x-ray production)

รังสี หมายถึง การเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านอวกาศและสสาร รังสีมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ หรือ มนุษย์สร้างขึ้น มี 2 รูปแบบ คือรังสีอนุภาค และรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีเอกซ์เป็นรูปหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานลักษณะคล้ายคลื่นแผ่ไปในบรรยากาศด้วยความเร็วเท่าแสง (186,000 ไมล์ / วินาที)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการสั่นสะเทือนของประจุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า จะเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองจะตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีพลังงานและความถี่เป็นช่วงตั้งแต่ค่าต่ำจนถึงค่าสูง รวมเรียกว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ได้แก่ คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ และเรดาร์ อินฟราเรด แสงสว่าง อัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา โดยรังสีเอกซ์มีความยาวคลื่นสั้นและความถี่สูง จึงพิจารณาให้เป็นกลุ่มก้อนของพลังงานที่เรียกว่า ควอนตัม (quantum) หรือ โฟตอน (photon)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีคุณสมบัติเหมือนกันหมดดังนี้

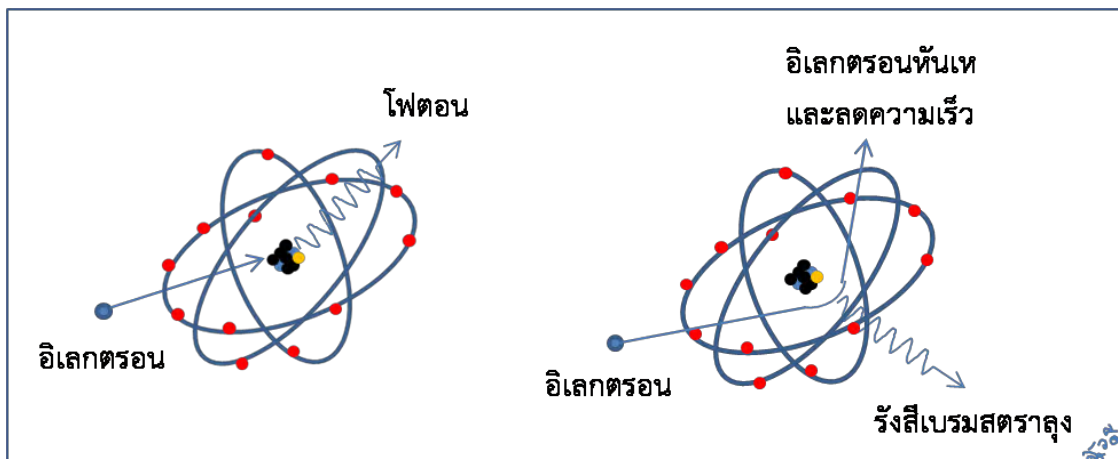
1. ไม่มีมวล (น้ำหนัก) หรือประจุไฟฟ้า (เป็นกลางทางไฟฟ้า)
2. เดินทางด้วยความเร็วเท่าแสงในสุญญากาศ
3. เดินทางคล้ายคลื่นแต่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง
4. ขณะเดินทางไปในบรรยากาศจะแผ่สนามไฟฟ้าตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

รังสีเอกซ์เกิดจากการที่อิเล็กตรอน ซึ่งหลุดออกจากผิวของขดลวด ตามปรากฏการณ์เทอร์มิออนิก (thermionic emission) ที่ขั้วแคโทด ถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง จึงเคลื่อนที่เข้าชนเป้าทั้งสแตนของอะโนด ส่งผลให้อิเล็กตรอน ซึ่งมีความเร็วสูงชะลอความเร็ว หรือหยุด พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนและรังสีเอกซ์ โดยเครื่องถ่ายภาพรังสี ขนาด 60 กิโลโวลต์ จะพบเพียงร้อยละ 0.5 ของพลังงานจลน์ที่จะกลายเป็นรังสีเอกซ์ ในขณะที่เครื่องขนาด 100 กิโลโวลต์ จะพบประมาณร้อยละ 1 ของพลังงานจลน์ที่จะกลายเป็นรังสีเอกซ์ ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นความร้อน

รังสีเอกซ์ที่ถูกผลิตขึ้นมา แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. รังสีเบรมสตราลุง (bremsstrahlung radiation)

รังสีชนิดนี้เป็นรังสีที่นำมาใช้ประโยชน์ถึงร้อยละ 80 ของการใช้รังสีเอกซ์ในงานรังสีวินิจฉัย รังสีชนิดนี้เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนที่วิ่งด้วยความเร็วสูงหยุดกะทันหันหรือชะลอความเร็ว เมื่อวิ่งเข้าใกล้อะโนด ส่งผลให้พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนเปลี่ยนรูปเป็นรังสีเอกซ์หรือเรียกว่า โฟตอนของรังสีเอกซ์ หากอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมทั้งสแตนโดยตรงจะทำให้ได้โฟตอนที่มีค่าพลังงาน เท่ากับพลังงานของอิเล็กตรอนที่วิ่งชน แต่หาก อิเล็กตรอนเพียงแต่เคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสของอะตอมทั้งสแตนแล้วหันเหไปจากทิศทางเดิม อิเล็กตรอนจะสูญเสียความเร็วและสูญเสียพลังงานในรูปของโฟตอนที่มีระดับพลังงานต่างกัน (รูปที่ 1.2) ซึ่งจะเรียกว่า สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ (x-ray spectrum) หรือ เรียกว่า การเกิดรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง



รูปที่ 1.2 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์แบบเบรมสตราลุง

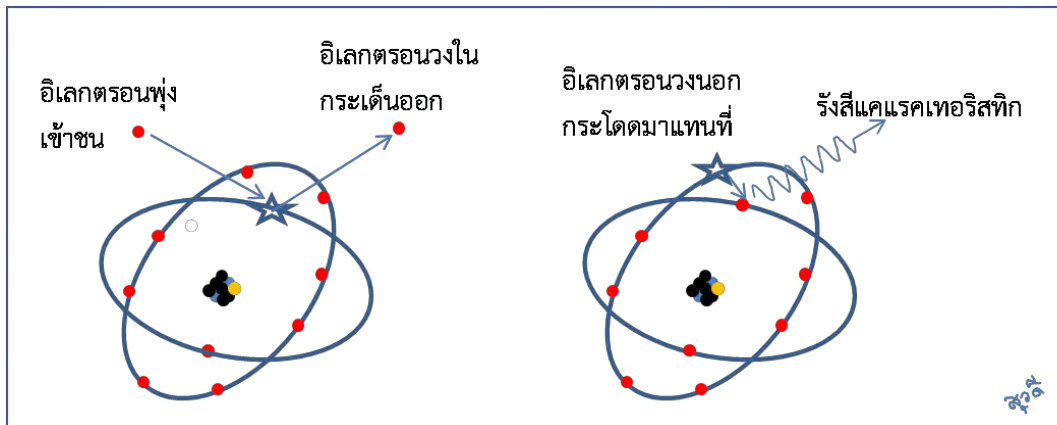
พลังงานของลำรังสีเอกซ์ ปกติขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ระหว่างแคโทดและอะโนด เครื่องถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 70 กิโลโวลต์ จะให้สเปกตรัมของโฟตอนที่ต่อเนื่อง โดยมีระดับพลังงานต่าง ๆ กันจนถึงสูงสุดคือ 70 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ระดับพลังงานในสเปกตรัมของรังสีเอกซ์

ระดับพลังงานในสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ต่างกัน เนื่องจาก

1. แรงดันไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างขั้วแคโทดและอะโนด ซึ่งเป็นลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ ส่งผลให้อิเล็กตรอนวิ่งด้วยระดับพลังงานที่แตกต่างกัน
2. อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมทั้งสแตนที่ระยะทางต่าง ๆ กัน และหักเหในทิศทางที่ต่างกัน ส่งผลให้ได้โฟตอนที่มีระดับพลังงานต่างกัน
3. จำนวนครั้งที่อิเล็กตรอนแต่ละตัววิ่งเข้าชนนิวเคลียสของอะตอมทั้งสแตนไม่เท่ากัน

2. รังสีแคแรคเทอริสติก (characteristic radiation)

รังสีเอกซ์ชนิดนี้เกิดจากการที่อิเล็กตรอนในวงโคจรวงนอกของอะตอมทั้งสแตนกระโดดลงมาบรรจุอยู่ในชั้นของอิเล็กตรอนวงใน จึงปล่อยพลังงานออกมาเท่ากับความแตกต่างระหว่างพลังงานของวงโคจรวงนอกและวงโคจรวงใน กลายเป็นรังสีเอกซ์ชนิดแคแรคเทอริสติก (รูปที่ 1.3) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอิเล็กตรอนในชั้นแอล (L shell) กระโดดไปอยู่ในชั้นเค (K shell) พลังงานที่ได้เป็นพลังงานไม่ต่อเนื่อง เพราะเป็นความแตกต่างของพลังงานระหว่างชั้น พลังงานของรังสีเอกซ์ชนิดนี้ จึงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นเป้าของอะโนด อาจเรียกรังสีเอกซ์แบบนี้ว่า รังสีเอกซ์แบบเส้น (line spectrum) รังสีชนิดนี้มักมีความยาวคลื่นยาว เมื่อเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ จึงมักถูกดูดกลืนโดยหนังหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (x-ray tube) และแผ่นกรองรังสีหรือเนื้อเยื่อของร่างกาย



รูปที่ 1.3 การเกิดรังสีเอกซ์แบบแคแตรเทอรียทิก

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์ (properties of x-ray)

1. ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่สามารถสัมผัส ได้ยินหรือดมกลิ่นและไม่มีน้ำหนัก
2. เดินทางเป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่าแสง (186,000 ไมล์/วินาที) และหันเหไปจากต้นกำเนิดเดิมได้ และเส้นทางใหม่ที่หันเหไปก็ยังคงเป็นเส้นตรง
3. สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าไม่สามารถหักเหทิศทางเดินของรังสีเอกซ์ได้
4. มีความยาวคลื่น 0.01-0.05 นาโนเมตร
5. ไม่สามารถที่จะรวมให้เป็นจุด (focus) ได้
6. สามารถทำให้สารบางชนิด เช่น ฉากเพิ่มความเข้ม (intensifying screen) เกิดการเรืองแสงได้
7. สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุโดยระดับการทะลุทะลวงขึ้นกับพลังงานของรังสีเอกซ์และขนาดความหนา ความหนาแน่นและชนิดของวัตถุ โดยในขณะที่รังสีเอกซ์ผ่านวัตถุ วัตถุอาจดูดกลืนรังสีเอกซ์ในระดับต่างๆ กัน ขึ้นกับโครงสร้างทางอะตอมของสารและความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
8. เมื่อผ่านวัตถุมีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับวัตถุในระดับอะตอมได้ และสามารถเคลื่อนอิเล็กตรอนออกจากอะตอมที่เรียกว่า ไอออนไนเซชัน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวัดและควบคุมปริมาณรังสีได้ ขณะเดียวกันการไอออนไนเซชันต่อเนื่องก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพหลายอย่าง เช่น หยุดยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยการลดการแบ่งตัวของเซลล์ หรือโดยการทำลายเซลล์ เป็นต้น

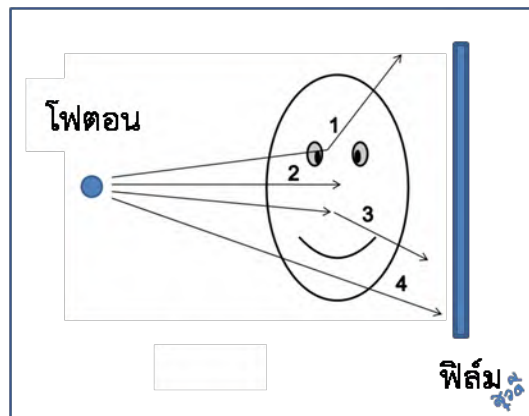
ปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร⁴

ในขบวนการถ่ายภาพรังสี ลำรังสีที่ออกจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ เรียก รังสีปฐมภูมิ (primary photon) ลำรังสีจะผ่านใบหน้าผู้ป่วยไปตกกระทบฟิล์มหรือตัวรับภาพ ในขณะที่ รังสีเอกซ์หรือโฟตอนซึ่งมีพลังงานหลายระดับ ผ่านใบหน้าผู้ป่วยจะทำปฏิกิริยากับอะตอมของเนื้อเยื่อแข็งและเนื้อเยื่ออ่อนจนระดับความเข้มของรังสีลดลง ปฏิกิริยาที่รังสีกระทำต่อสสาร สามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้ (รูปที่ 1.4)

1. มีการกระเจิงออกแบบสมมาตรโดยไม่สูญเสียพลังงานเลย และไม่ตกกระทบฟิล์ม
2. รังสีเอกซ์ถูกดูดกลืนโดยสูญเสียพลังงานทั้งหมด ดังนั้น จึงไม่มาถึงฟิล์ม
3. มีการกระเจิงออกโดยถูกดูดกลืนบางส่วนและสูญเสียพลังงานบางส่วน โฟตอนส่วนที่เหลือจะ
ไปตกกระทบฟิล์ม

4. ผ่านไปโดยไม่มีสิ่งใดเปลี่ยนแปลง และไปตกกระทบฟิล์ม

จากปฏิกิริยาทั้งหมดนี้ ก็จะปรากฏภาพบนฟิล์ม ส่วนที่เนื้อเยื่อดูดกลืน ก็จะทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อในร่างกาย ส่วนที่กระเจิงออกไป จะไปตกกระทบวัตถุอื่น ๆ จนหมดกำลังและสลายไป



รูปที่ 1.4 ปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร

1. รังสีเอกซ์กระเจิงออกแบบสมมาตร
2. รังสีเอกซ์ถูกดูดกลืนทั้งหมด
3. กระเจิงออกโดยถูกดูดกลืนบางส่วน
4. รังสีเอกซ์ผ่านไปตกกระทบฟิล์ม

ฮาลฟแวลูแลร์ (half-value layer, HVL)

หมายถึงความหนาของวัตถุใดก็ตามที่ทำให้พลังงานของรังสีที่วิ่งเข้าชนลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง มีหน่วยเป็นระยะทาง เช่น มิลลิเมตร (มม.) เซนติเมตร (ซม.) หรือ นิ้ว เช่น เครื่องเอกซเรย์ 50 กิโลโวลต์ ตะกั่วจะมีค่าฮาลฟแวลูแลร์ ที่ความหนา 0.06 มิลลิเมตร (0.0002 นิ้ว) ขณะที่คอนกรีตจะต้องใช้ความหนาถึง 4.32 มิลลิเมตร (0.170 นิ้ว) จึงจะทำให้พลังงานของรังสีที่วิ่งเข้าชนลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง เป็นต้น

คำศัพท์ที่ใช้ในปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสาร

การกระเจิง (scattering) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงในทิศทางของโฟตอน โดยมีการสูญเสียพลังงานหรือไม่ก็ได้

การดูดกลืน (absorption) หมายถึง มีการดูดกลืนพลังงานของรังสีเอกซ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาและความหนาแน่นของวัตถุและพลังงานของลำรังสี

แอทเทนนิวเอชั่น (attenuation) หมายถึง ความเข้มของลำรังสีเอกซ์ลดลง เนื่องจากมีปฏิกิริยาการดูดกลืน (โฟโตอิเล็กทริก) และการกระเจิง (คอมตัน) เป็นลำรังสีที่เหลือผ่านมาจากวัตถุและเป็นส่วนที่ไม่ไปตกกระทบฟิล์ม จากรูป 1.4 โฟตอน 1 และ 2 จะเรียกว่า แอทเทนนิวเอทโฟตอน (attenuated photon) เราสามารถทำนายการลดความเข้มของลำรังสีได้ ยิ่งถ้ารังสีเอกซ์มีพลังงานค่าเดียวจะสามารถคำนวณความเข้มที่ลดลงได้ผ่านทางฮาล์ฟแวลูแวลอร์ เช่น น้ำซึ่งมีความหนา 1.5 ซม.อาจลดความเข้มของลำรังสีลงร้อยละ 50 อย่างไรก็ตาม โฟตอนมักจะมีช่วงพลังงานกว้าง โฟตอนที่มีพลังงานต่ำมักจะถูกดูดกลืนมากกว่าโฟตอนที่มีพลังงานสูง

ไอออนไนเซชัน หมายถึง การที่อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรของอะตอมสสาร เกิดเป็นประจุลบ (ซึ่งก็คืออิเล็กตรอน) และประจุบวก (คือ อะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป)

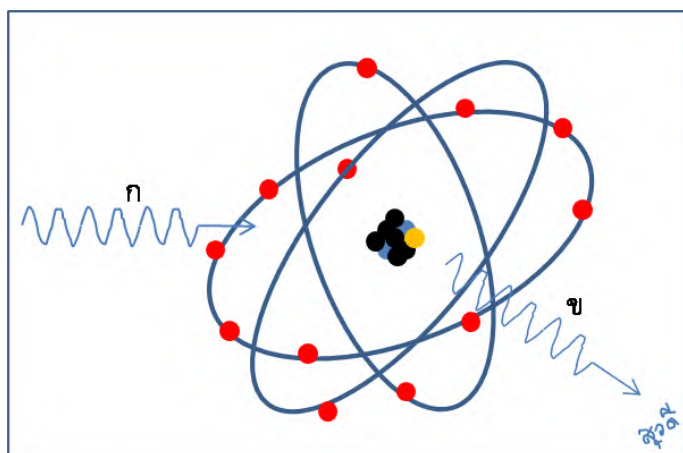
ปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ระดับอะตอม

เมื่อพิจารณาถึงปฏิกิริยาของรังสีเอกซ์ต่อสสารในระดับอะตอม สามารถอธิบายถึงที่มาของการกระเจิงและการดูดกลืนว่ามีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระดับอะตอม ดังนี้

1.การกระเจิงโคเฮเรนท์ (coherent scattering)

เป็นปฏิกิริยาที่มีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ทั้งหมด ในเครื่องที่มีกำลัง 1-50 กิโลโวลต์ ปฏิกิริยานี้เกิดในโฟตอนที่มีพลังงานต่ำ (น้อยกว่า 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์) วิ่งผ่านเข้าใกล้อิเล็กตรอนชั้นนอกของอะตอม โฟตอนทำให้อิเล็กตรอนตัวนอกสั่นชั่วคราวด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของโฟตอนที่วิ่งชนอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานมา (excited electron) เมื่อจะกลับเข้าสู่ภาวะปกติจะปล่อยโฟตอนตัวใหม่ที่มีพลังงานเท่ากับพลังที่ได้รับมาและมักจะหักเหไปจากทิศทางเดิมที่ต่างจากโฟตอนตัวแรกที่วิ่งเข้าชน (รูปที่ 1.5)

ปฏิกิริยานี้พบประมาณร้อยละ 7 ของปฏิกิริยาทั้งหมด ปฏิกิริยานี้มักทำให้ฟิล์มมัวเพราะโฟตอนที่กระเจิงออกไปตกกระทบฟิล์มจะมีขนาดเล็ก พลังงานต่ำและไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านวัตถุมาถึงฟิล์มหรือตัวรับภาพเพื่อสร้างภาพได้ ดังนั้น ปฏิกิริยานี้ จึงไม่มีประโยชน์ในการสร้างภาพ



รูปที่ 1.5 การกระเจิงโคเฮเรนซ์

ก. โฟตอนที่วิ่งผ่านอิเล็กตรอน

ข. โฟตอนตัวใหม่หันเหทิศไปจากเดิม

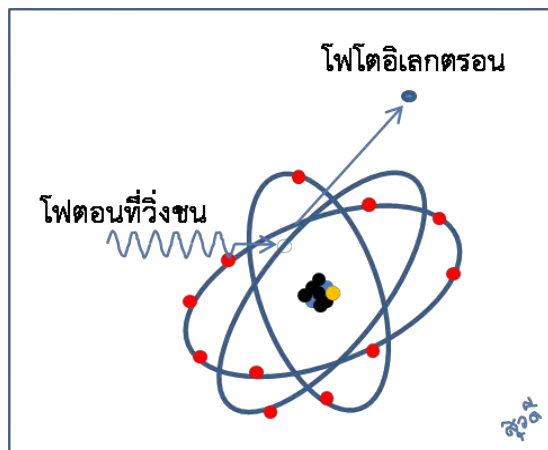
2. การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric absorption)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วมีการดูดกลืนพลังงานรังสีเอกซ์ทั้งหมดในเครื่องที่มีกำลัง 1-50 กิโลโวลต์ มักเกิดปฏิกิริยาในเนื้อเยื่ออ่อน

ปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับโฟตอนที่มีพลังงานต่ำ เมื่อกระทบวัตถุ จะถูกดูดกลืนหมด

ลักษณะของปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก มีดังนี้ (รูปที่ 1.6)

1. โฟตอนของรังสีเอกซ์ทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนตัวในสุดของอะตอมเนื้อเยื่อ
2. อิเล็กตรอนตัวในจะหลุดออกพร้อมด้วยพลังงานระดับหนึ่ง อิเล็กตรอนที่หลุดออกเรียก โฟโตอิเล็กตรอนจะวิ่งไปกระทบอิเล็กตรอนของอะตอมตัวอื่น ๆ ในเนื้อเยื่อต่อไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออนไนเซชันในอะตอมและเกิดการทำลายเนื้อเยื่ออะตอม
3. โฟตอนของรังสีเอกซ์สูญเสียพลังงานจนหมด
4. อิเล็กตรอนตัวนอกของวงโคจรจะเคลื่อนที่มาบรรจุในวงโคจรของอิเล็กตรอนชั้นใน โดยจะปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของแสงหรือความร้อน เทียบได้กับรังสีแคแตรเทอริสติก ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อผู้ป่วยและไม่ทำให้ฟิล์มมืด
5. อะตอมจะเสถียรได้โดยพยายามจับกับอิเล็กตรอนอิสระเพื่อให้อะตอมคืนสู่ความเป็นกลาง
6. ปฏิกิริยานี้พบประมาณร้อยละ 23 ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะถ่ายภาพรังสี



รูปที่ 1.6 ปฏิกริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก

มีข้อพึงสังเกตว่า

1) การที่อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากอะตอม โฟตอนจะต้องมีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ของอิเล็กตรอนวงในสุด เพื่อให้สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาได้

2) เลขอะตอม (ค่า z) ถ้าความหนาแน่นของอะตอมซึ่งแสดงได้โดยค่าเลขอะตอมมีค่าสูงขึ้น จำนวนของอิเล็กตรอนในชั้นในสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โอกาสของการเกิดปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าประมาณการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับเลขอะตอมยกกำลังสาม (z^3) เช่น ตะกั่วมีค่าเลขอะตอม 82 จึงสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ดี จึงใช้สำหรับป้องกันอันตรายจากรังสีเอกซ์ เนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) มีค่าเลขอะตอม = 7 (ดังนั้น $z^3 = 343$) ขณะที่กระดูกมีค่าเลขอะตอม = 12 ($z^3 = 1728$) ดังนั้นเราจะเห็นความแตกต่างของความทึบรังสีของเนื้อเยื่อต่างๆที่ปรากฏบนภาพรังสี หรือกล่าวได้ว่าโฟตอนจะถูกดูดกลืนในกระดูกด้วยปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกมากกว่าถูกดูดกลืนในเนื้อเยื่ออ่อนที่ความหนาเท่ากัน

3. การกระเจิงคอมตัน (compton scattering)

เป็นปฏิกิริยาที่มีทั้งการกระเจิงและการดูดกลืน ในเครื่องที่มีกำลัง 60-90 กิโลโวลต์ ปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตันเป็นขบวนการดูดกลืนและการกระเจิงด้วยโฟตอนที่มียกระดับพลังงานสูง โดยโฟตอนทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนในวงโคจรนอกสุดทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรส่วนโฟตอนที่วิ่งเข้าชนจะหักเหและกระเจิงในทิศทางใหม่ พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงไปจะเท่ากับพลังงานของโฟตอนที่วิ่งเข้าชนลบด้วยพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกและพลังงานยึดเหนี่ยว

ลักษณะของปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตัน มีดังนี้ (รูปที่ 1.7)

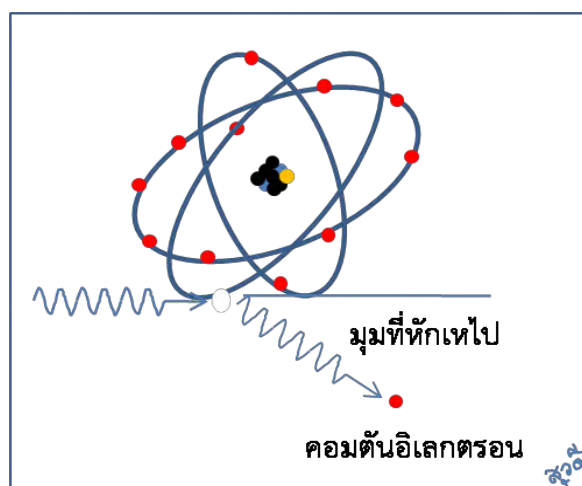
1. ปฏิกิริยานี้ไม่ขึ้นกับเลขอะตอม แต่เกิดขึ้นในโฟตอนที่มีพลังงานสูง
2. พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกจะน้อยกว่าพลังงานของโฟตอนที่วิ่งเข้าชน

3. โฟตอนที่กระเจิงออกไปอาจไปทิศทางใดก็ได้ แต่มุมของการกระเจิงขึ้นกับระดับพลังงานของโฟตอน โฟตอนที่พลังงานสูงจะกระเจิงไปด้านหน้า โฟตอนที่พลังงานต่ำจะกระเจิงไปด้านหลัง ถ้าการกระเจิงวิ่งไปตกกระทบฟิล์ม จะทำให้ฟิล์มมัว ซึ่งสามารถลดการกระเจิงของรังสีด้วยการใช้กริด (grid)

4. ผลลัพธ์ทั้งหมดของการทำปฏิกิริยา คือ การไอออนไนเซชันของเนื้อเยื่อเช่นเดียวกับปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก

5. พบปฏิกิริยานี้ในการถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรมประมาณ ร้อยละ 49

6. โอกาสเกิดปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของอะตอมที่โฟตอนวิ่งเข้าชน จำนวนของอิเล็กตรอนในกระดูก (5.55×10^{23} /ลูกบาศก์เซนติเมตร) ซึ่งมากกว่าในเนื้อเยื่ออ่อน (3.34×10^{23} /ลูกบาศก์เซนติเมตร) ดังนั้น โอกาสเกิดปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตันในกระดูกจึงมากกว่าในเนื้อเยื่ออ่อน และปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตันนี้มีส่วนในการสร้างภาพ



รูปที่ 1.7 ปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตัน

4. แพร่โปรดักส์ชัน (pair production)

เป็นปฏิกิริยาดูดกลืนพลังงานรังสีทั้งหมด ในเครื่องที่มีกำลัง 200 กิโลโวลต์ ถึง 2 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นในเครื่องถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม ดังนั้นจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

จากปฏิกิริยาทั้ง 4 แบบที่เกิดขึ้นระดับอะตอม มีเพียง 2 ปฏิกิริยาเท่านั้นที่เกิดขึ้นแล้วใช้ประโยชน์ในทางทันตกรรม คือ ปฏิกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกและปฏิกิริยาการกระเจิงคอมตัน สำหรับปฏิกิริยาการกระเจิงโคเฮเรนท์จะทำให้ฟิล์มมัว